

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日                      2 0 0 3 年 1 2 月    5 日  
Date of Application:

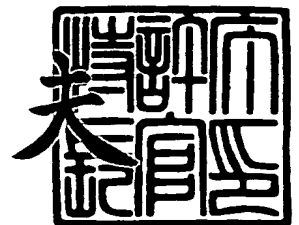
出 願 番 号                      特 願 2 0 0 3 - 4 0 7 8 3 8  
Application Number:  
[ST. 10/C] :                      [ J P 2 0 0 3 - 4 0 7 8 3 8 ]

出      願      人                      富士通株式会社  
Applicant(s):                      富士通メディアデバイス株式会社

2 0 0 4 年    1 月    6 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号    出証特 2 0 0 3 - 3 1 0 8 8 6 4

【書類名】 特許願  
【整理番号】 0395306  
【提出日】 平成15年12月 5日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 H01L 21/00  
G02B 26/08

【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社  
内  
【氏名】 高馬 悟覚

【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社  
内  
【氏名】 壺井 修

【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社  
内  
【氏名】 奥田 久雄

【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社  
内  
【氏名】 曾根田 弘光

【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社  
内  
【氏名】 ミイ シャオユウ

【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社  
内  
【氏名】 上田 知史

【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社  
内  
【氏名】 佐脇 一平

【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県横浜市港北区新横浜二丁目 3 番地 1 2 富士通メディア  
デバイス株式会社内  
【氏名】 中村 義孝

【特許出願人】  
【識別番号】 000005223  
【氏名又は名称】 富士通株式会社

【特許出願人】  
【識別番号】 398067270  
【氏名又は名称】 富士通メディアデバイス株式会社

【代理人】  
【識別番号】 100086380  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 吉田 稔  
【連絡先】 0 6 - 6 7 6 4 - 6 6 6 4

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100103078

【弁理士】

【氏名又は名称】 田中 達也

## 【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2003-292555

【出願日】 平成15年 8月12日

【国等の委託研究の成果に係る記載事項】 平成15年度、通信・放送機構、「光バーストスイッチングを用いたフォトニックネットワーク技術の研究開発」委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受ける特許出願

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 024198

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 特許請求の範囲 1

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9807281

【包括委任状番号】 0103433

**【書類名】特許請求の範囲****【請求項 1】**

第 1 導体層と、第 2 導体層と、第 3 導体層と、前記第 1 導体層および前記第 2 導体層の間に介在する第 1 絶縁層と、前記第 2 導体層および前記第 3 導体層の間に介在する第 2 絶縁層と、を含む積層構造を有する材料基板に対して加工を施すことによりマイクロ構造体を製造するための方法であって、

前記第 1 導体層に対し、当該第 1 導体層上に形成された第 1 マスクパターンおよび第 2 マスクパターンを介して、当該第 1 導体層の厚さ方向の途中までエッチング処理を施すための、第 1 エッチング工程と、

前記第 2 マスクパターンを除去するための工程と、

前記第 1 導体層に対し、前記第 1 マスクパターンを介して、前記第 1 絶縁層に接する残存マスク部が残存形成されるように前記第 1 絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための、第 2 エッチング工程と、

前記第 1 絶縁層において前記第 2 エッチング工程にて露出した箇所に対し、前記第 2 導体層に至るまで前記残存マスク部を介してエッチング処理を施すための、第 3 エッチング工程と、

前記残存マスク部をエッチング除去し、且つ、前記第 2 導体層において前記第 3 エッチング工程にて露出した箇所に対してエッチング処理を施すための、第 4 エッチング工程と、を含むことを特徴とする、マイクロ構造体の製造方法。

**【請求項 2】**

前記第 4 エッチング工程では、前記第 2 導体層において前記第 3 エッチング工程にて露出した箇所に対し、前記第 2 絶縁層に至るまでエッチング処理を施す、請求項 1 に記載のマイクロ構造体の製造方法。

**【請求項 3】**

前記第 3 導体層に対し、当該第 3 導体層上に形成された第 3 マスクパターンを介して、前記第 2 絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための、第 5 エッチング工程を更に含む、請求項 1 または 2 に記載のマイクロ構造体の製造方法。

**【請求項 4】**

前記第 3 マスクパターンは第 1 櫛歯電極用第 1 マスク部を含み、

前記第 2 マスクパターンは第 1 櫛歯電極用第 2 マスク部を含み、

前記第 1 マスクパターンは第 2 櫛歯電極用マスク部を含み、

前記第 5 エッチング工程では、第 1 櫛歯電極部の第 1 導体部が前記第 3 導体層において成形され、

前記第 2 エッチング工程では、第 1 櫛歯電極用残存マスク部および第 2 櫛歯電極部の第 1 導体部が前記第 1 導体層において成形され、

前記第 3 エッチング工程では、前記第 2 櫛歯電極部の絶縁部が前記第 1 絶縁層において成形され、

前記第 4 エッチング工程では、前記第 1 櫛歯電極部の第 2 導体部および前記第 2 櫛歯電極部の第 2 導体部が前記第 2 導体層において成形され、且つ、前記第 1 櫛歯電極用残存マスク部はエッチング除去され、

前記第 1 櫛歯電極部の前記第 1 および第 2 導体部の間に介在する、前記第 1 櫛歯電極部の絶縁部を、前記第 2 絶縁層において成形するための、第 6 エッチング工程を更に含む、請求項 3 に記載のマイクロ構造体の製造方法。

**【請求項 5】**

第 1 導体層と、第 2 導体層と、第 3 導体層と、前記第 1 導体層および前記第 2 導体層の間に介在する第 1 絶縁層と、前記第 2 導体層および前記第 3 導体層の間に介在する第 2 絶縁層と、を含む積層構造を有する材料基板に対して加工を施すことによりマイクロ構造体を製造するための方法であって、

前記第 1 導体層に対し、当該第 1 導体層上に形成された第 1 マスクパターンおよび第 2 マスクパターンを介して、前記第 1 絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための、第 1

エッチング工程と、

前記第1絶縁層において前記第1エッチング工程にて露出した箇所に対し、前記第2導体層に至るまでエッチング処理を施すための、第2エッチング工程と、

前記第2マスクパターンを除去するための工程と、

前記第1導体層に対して前記第1マスクパターンを介してエッチング処理を施し、且つ、前記第2導体層において前記第2エッチング工程にて露出した箇所に対してエッチング処理を施すための、第3エッチング工程と、を含むことを特徴とする、マイクロ構造体の製造方法。

【請求項6】

前記第3エッチング工程では、前記第1導体層に対して前記第1絶縁層に至るまでエッチング処理を施し、且つ、前記第2導体層において前記第2エッチング工程にて露出した箇所に対して前記第2絶縁層に至るまでエッチング処理を施す、請求項5に記載のマイクロ構造体の製造方法。

【請求項7】

前記第3導体層に対し、当該第3導体層上に形成された第3マスクパターンを介して、前記第2絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための、第4エッチング工程を更に含む、請求項5または6に記載のマイクロ構造体の製造方法。

【請求項8】

前記第3マスクパターンは第1櫛歯電極用第1マスク部を含み、

前記第2マスクパターンは第1櫛歯電極用第2マスク部を含み、

前記第1マスクパターンは第2櫛歯電極用マスク部を含み、

前記第4エッチング工程では、第1櫛歯電極部の第1導体部が前記第3導体層において成形され、

前記第1エッチング工程では、第1櫛歯電極用残存マスク部および第2櫛歯電極部の第1導体部が前記第1導体層において成形され、

前記第2エッチング工程では、前記第2櫛歯電極部の絶縁部が前記第1絶縁層において成形され、

前記第3エッチング工程では、前記第1櫛歯電極部の第2導体部および前記第2櫛歯電極部の第2導体部が前記第2導体層において成形され、且つ、前記第1櫛歯電極用残存マスク部はエッチング除去され、

前記第1櫛歯電極部における前記第1および第2導体部の間に介在する、前記第1櫛歯電極部の絶縁部を、第2絶縁層において成形するための、第5エッチング工程を更に含む、請求項7に記載のマイクロ構造体の製造方法。

【請求項9】

前記第2絶縁層において前記第4エッチング工程にて露出した箇所に対して前記第2導体層に至るまでエッチング処理を施すための第5エッチング工程と、前記第2導体層において前記第5エッチング工程にて露出した箇所に対して前記第1絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための第6エッチング工程と、を更に含む、請求項7に記載のマイクロ構造体の製造方法。

【請求項10】

前記第3マスクパターンは第1櫛歯電極用マスク部および第2櫛歯電極用第1マスク部を含み、

前記第1マスクパターンは第2櫛歯電極用第2マスク部を含み、

前記第4エッチング工程では、第1櫛歯電極部の第1導体部および第2櫛歯電極部の第1導体部が前記第3導体層において成形され、

前記第5エッチング工程では、前記第1櫛歯電極部の第1絶縁部および前記第2櫛歯電極部の第1絶縁部が前記第2絶縁層において成形され、

前記第6エッチング工程では、前記第1櫛歯電極部の第2導体部および前記第2櫛歯電極部の第2導体部が前記第2導体層において成形され、

前記第3エッチング工程では、前記第2櫛歯電極部の第3導体部が前記第1導体層にお

いて成形され、

前記第 2 櫛歯電極部における前記第 2 および第 3 導体部の間に介在する、前記第 2 櫛歯電極部の第 2 絶縁部を、前記第 1 絶縁層において成形するための、第 7 エッチング工程を更に含む、請求項 9 に記載のマイクロ構造体の製造方法。

【書類名】明細書

【発明の名称】マイクロ構造体の製造方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、マイクロマシニング技術により作製されるマイクロミラー素子、加速度センサ素子、角速度センサ素子、および振動素子などのマイクロ構造体の、製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、様々な技術分野において、マイクロマシニング技術により形成される微小構造を有する素子の応用化が図られている。例えば光通信技術の分野においては、光反射機能を有する微小なマイクロミラー素子が注目されている。

【0003】

光通信においては、光ファイバを媒体として光信号が伝送され、また、光信号の伝送経路を或るファイバから他のファイバへと切換えるべく、一般に、いわゆる光スイッチング装置が使用される。良好な光通信を達成するうえで光スイッチング装置に求められる特性としては、切換え動作における、大容量性、高速性、高信頼性などが挙げられる。これらの観点より、光スイッチング装置としては、マイクロマシニング技術により作製されるマイクロミラー素子を組み込んだものに対する期待が高まっている。マイクロミラー素子によると、光スイッチング装置における入力側の光伝送路と出力側の光伝送路との間で、光信号を電気信号に変換せずに光信号のままでスイッチング処理を行うことができ、上掲の特性を得るうえで好適だからである。

【0004】

マイクロミラー素子は、光を反射するためのミラー面を備え、当該ミラー面の揺動により光の反射方向を変化させることができる。ミラー面を揺動するうえで静電気力を利用する静電駆動型のマイクロミラー素子が、多くの装置で採用されている。静電駆動型マイクロミラー素子は、いわゆる表面マイクロマシニング技術により製造されるマイクロミラー素子と、いわゆるバルクマイクロマシニング技術により製造されるマイクロミラー素子との、大きく2つに類別することができる。

【0005】

表面マイクロマシニング技術では、基板上において、各構成部位に対応する材料薄膜を所望のパターンに加工し、このようなパターンを順次積層することにより、支持体、ミラー面および電極部など、素子を構成する各部位や、後に除去される犠牲層を形成する。一方、バルクマイクロマシニング技術では、材料基板自体をエッチングすることにより支持体やミラー部などを所望の形状に成形し、必要に応じてミラー面や電極を薄膜形成する。バルクマイクロマシニング技術については、例えば下記の特許文献1～3に記載されている。

【特許文献1】特開平10-190007号公報

【特許文献2】特開平10-270714号公報

【特許文献3】特開平2000-31502号公報

【0006】

マイクロミラー素子に要求される技術的事項の一つとして、光反射を担うミラー面の平面度が高いことが挙げられる。しかしながら、表面マイクロマシニング技術によると、最終的に形成されるミラー面が薄いためにミラー面が湾曲し易く、従って、広面積のミラー面において高い平面度を達成するのが困難である。これに対し、バルクマイクロマシニング技術によると、相対的に分厚い材料基板自体をエッチング技術により削り込んでミラー部を構成して当該ミラー部上にミラー面を設けるため、広面積のミラー面であっても、その剛性を確保することができる。そのため、十分に高い光学的平面度を有するミラー面を形成することが可能である。

【0007】

図32は、バルクマイクロマシニング技術により作製される従来のマイクロミラー素子X5の一部切欠き斜視図である。マイクロミラー素子X5は、上面にミラー面(図示略)が設けられたミラー部510と、内フレーム520と、外フレーム530(一部省略)とを有し、各々に、櫛歯電極が一体的に設けられている。ミラー部510には、その一对の端部に櫛歯電極511, 512が設けられている。内フレーム520には、櫛歯電極511, 512に対応して、内方に延びる櫛歯電極521, 522が設けられているとともに、外方に延びる櫛歯電極523, 524が設けられている。外フレーム530には、櫛歯電極523, 524に対応して、内方に延びる櫛歯電極531, 532が設けられている。また、ミラー部510と内フレーム520は、一对のトーションバー540により連結されており、内フレーム520と外フレーム530は、一对のトーションバー550により連結されている。一对のトーションバー540は、内フレーム520に対するミラー部510の回転動作の回転軸心A5を規定し、一对のトーションバー550は、外フレーム530に対する内フレーム520およびこれに伴うミラー部510の回転動作の回転軸心A5'を規定している。

#### 【0008】

このような構成のマイクロミラー素子X5においては、静電気力を発生させるために近接して設けられた一組の櫛歯電極、例えば櫛歯電極511および櫛歯電極521は、電圧非印加時には、図33(a)に示すように、上下2段に分かれた配向をとる。一方、所定電圧印加時には、図33(b)に示すように櫛歯電極511が櫛歯電極521に引き込まれ、これによりミラー部510が揺動する。より具体的には、例えば、櫛歯電極511を正に帯電させ、櫛歯電極521を負に帯電させると、ミラー部510が、一对のトーションバー540を振りながら回転軸心A5まわりに回転する。一方、櫛歯電極523を正に帯電させ、櫛歯電極531を負に帯電させると、内フレーム520およびこれに伴うミラー部510は、一对のトーションバー550を振りながら回転軸心A5'まわりに回転する。このようなミラー部510の回転駆動により、ミラー部510上に設けられたミラー面(図示せず)により反射される光の反射方向を切り換えることができる。

#### 【0009】

図34は、マイクロミラー素子X5の従来の製造方法を表す。図34においては、図32に示すミラー部510の一部、内フレーム520、外フレーム530、トーションバー540、および一組の櫛歯電極511, 521の一部の形成過程を、一の断面の変化により表す。当該一の断面は、加工が施される材料基板(ウエハ)における単一のマイクロスイッチング素子形成区画に含まれる複数の断面を、モデル化して連続断面として表したものである。

#### 【0010】

マイクロミラー素子X5の製造方法においては、まず、図34(a)に示すようなウエハS5を用意する。ウエハS5は、いわゆるSOI(Silicon on Insulator)ウエハであり、シリコン層501と、シリコン層502と、これらの間の絶縁層503とからなる積層構造を有する。次に、図34(b)に示すようにシリコン層501に対して所定のマスクを介して異方性エッチングを行うことにより、ミラー部510、内フレーム520の一部、外フレーム530の一部、トーションバー540、および櫛歯電極511などの、シリコン層501において成形されるべき構造部を形成する。

#### 【0011】

次に、図34(c)に示すようにシリコン層502に対して所定のマスクを介して異方性エッチングを行うことにより、内フレーム520の一部、外フレーム530の一部、および櫛歯電極521などの、シリコン層502において成形されるべき構造部を形成する。次に、図34(d)に示すように、絶縁層503に対して等方性エッチングを行うことにより、絶縁層502において露出する箇所を除去する。このようにして、ミラー部510、内フレーム520、外フレーム530、トーションバー540、および一組の櫛歯電極511, 521が形成される。他組の櫛歯電極は櫛歯電極511, 521と同様にして形成され、トーションバー550はトーションバー540と同様にして形成される。



## 【0012】

マイクロミラー素子X5では、ミラー部510および内フレーム520の回転動作に伴って各櫛歯電極が変位するため、各櫛歯電極は、ミラー部510および内フレーム520の傾斜角度に見合った十分な厚さを有する必要がある。この厚さは、上述のウエハS5の厚さ方向の寸法に相当する。例えば、ミラー部510の胴体部513の長さDが1mmである場合、ミラー部510を内フレーム520に対して回転軸心A5まわりに $5^\circ$ 傾斜させると、胴体端部513'の一方は $44\mu\text{m}$ 沈み込む。そのため、ミラー部510の櫛歯電極511、512の厚さは、 $44\mu\text{m}$ 以上である必要がある。

## 【0013】

小さな印加電圧により大きな傾斜角度を得るという観点からは、振り抵抗を有するトーションバー540、550については、その振り抵抗を低減すべく薄肉に形成するのが好ましい。しかしながら、上述の従来のマイクロミラー素子X5では、トーションバー540、550は、各櫛歯電極と同一の厚さに形成されており、分厚い。例えば、上述のように櫛歯電極511、512の厚さを $44\mu\text{m}$ 以上に設計すると、トーションバー540、550の厚さも $44\mu\text{m}$ 以上となってしまう。マイクロミラー素子X5では、トーションバー540、550がこのような分厚いので、これらを振るために櫛歯電極間に発生させるべき静電気力は比較的大きく、従って、要求される駆動電圧は比較的大きい。

## 【0014】

また、ミラー部510を軽量化してそのイナーシャを低減するという観点からは、ミラー部510については、薄肉に形成するのが好ましい。しかしながら、上述の従来のマイクロミラー素子X5では、ミラー部510の全体が、例えば櫛歯電極511、512、523、524と同一の厚さに形成されており、分厚い。ミラー部510の全体がこのような分厚いので、ミラー部510の質量、従ってそのイナーシャは、比較的大きい。その結果、マイクロミラー素子X5では、ミラー部510の回転変位について所望される周波数応答特性を達成できない場合が生ずる。また、ミラー部510の回転変位における回転角度を増大するためには、櫛歯電極をより厚くして駆動力を増大させる必要があるが、マイクロミラー素子X5では、櫛歯電極の厚さの増大は、ミラー部510の質量の増大、従ってミラー部510のイナーシャの増大を、招いてしまう。このように、マイクロミラー素子X5は、ミラー部510の大回転角度を達成しつつ良好な周波数応答特性を得るうえで困難性を有する。

## 【0015】

一方、上述のマイクロミラー素子製造過程において、ウエハS5の破損を防止するという観点からは、当該ウエハS5は分厚い方が好ましい。しかしながら、マイクロミラー素子X5の上述の製造方法では、ウエハS5の厚さが、一組の櫛歯電極（例えば一組の櫛歯電極511、521）の合計厚さに直接的に反映されるため、製造目的のマイクロミラー素子X5における一組の櫛歯電極の合計厚さと略同一の厚さを有するウエハS5を使用する必要がある。例えば、形成すべき一組の櫛歯電極の合計厚さが $200\mu\text{m}$ である場合、そのような櫛歯電極対を有するマイクロミラー素子X5を形成するためには、厚さ $200\mu\text{m}$ のウエハS5を使用する必要がある。ウエハS5の総厚さが $200\mu\text{m}$ 程度以下である場合、素子の製造過程においてウエハS5に破損が生じ易いので、当該素子の量産化は困難である。

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0016】

マイクロマシニング技術により作製されるマイクロ構造体では、材料基板（ウエハ）においてエッチング成形される種々の構造部は、上述のように各々所望の厚さを有する場合が多い。しかしながら、従来のバルクマイクロマシニング技術においては、単一マイクロ構造体における各構造部の厚さ寸法についての自由度が上述のように低いため、厚さの異なる複数の構造部の各々について所望の厚さ寸法を実現するのが困難な傾向にある。

## 【0017】

本発明は、このような事情のもとで考え出されたものであって、厚さの異なる複数の構造部の各々について所望の厚さ寸法を実現するのに適したマイクロ構造体製造方法を提供することを、目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0018】

本発明の第1の側面によると、第1導体層と、第2導体層と、第3導体層と、第1導体層および第2導体層の間に介在する第1絶縁層と、第2導体層および第3導体層の間に介在する第2絶縁層と、を含む積層構造を有する材料基板に対して加工を施すことによりマイクロ構造体を製造するための方法が提供される。この方法は、第1導体層に対し、当該第1導体層上に形成された第1マスクパターンおよび第2マスクパターンを介して、当該第1導体層の厚さ方向の途中までエッチング処理を施すための、第1エッチング工程と、第2マスクパターンを除去するための工程と、第1導体層に対し、第1マスクパターンを介して、第1絶縁層に接する残存マスク部が残存形成されるように第1絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための、第2エッチング工程と、第1絶縁層において第2エッチング工程にて露出した箇所に対し、第2導体層に至るまで残存マスク部を介してエッチング処理を施すための、第3エッチング工程と、残存マスク部をエッチング除去し、且つ、第2導体層において第3エッチング工程にて露出した箇所に対してエッチング処理を施すための、第4エッチング工程と、を含む。

【0019】

このような方法によると、製造されるマイクロ構造体において、厚さの異なる複数の構造部の各々について高い自由度で所望の厚さ寸法を実現することができる。

【0020】

本発明の第1の側面における第1マスクパターンは、第1導体層の外表面（第1絶縁層に接する表面とは反対の表面）における所定の領域を被覆する。材料基板の第1導体層から第3導体層にわたって基板厚み方向に延び且つ第1導体層外表面が第1マスクパターンにより被覆される立体区域（第1区域）においては、各層（第1～第3導体層、第1および第2絶縁層）は、第1～第4エッチング工程にて積極的にエッチングされない。したがって、第1区域内の各層が第1～第4エッチング工程でのエッチング処理以外のエッチング処理によりエッチングされない場合、第1区域には、第1～第3導体層ならびに第1および第2絶縁層の合計厚さを有する構造部が形成されることとなる。また、第1～第4エッチング工程でのエッチング処理以外の所定のエッチング処理を行うことにより、第1区域には、異なる厚さを有する構造部を形成することが可能である。例えば、第4エッチング工程までに又は第4エッチング工程の後に、第3導体層の側から所定のエッチング処理を行うことにより、第1区域内の、第3導体層を、第3導体層および第2絶縁層を、第3導体層から第2導体層までを、または、第3導体層から第1絶縁層までを、除去する場合、第1区域には、材料基板内に当初から設定されているいずれかの厚さ寸法（例えば、第3導体層および第2絶縁層が除去される場合は、第1導体層、第1絶縁層、および第2導体層の合計厚さ）を有する構造部が形成されることとなる。

【0021】

本発明の第1の側面における第2マスクパターンは、第1導体層の外表面における所定の領域を被覆する。材料基板の第1導体層から第3導体層にわたって基板厚み方向に延び且つ第1導体層外表面が第2マスクパターンにより被覆される立体区域（第2区域）においては、第1導体層は、第1および第3エッチング工程では積極的にエッチングされず、第2および第4エッチング工程にてエッチングされる。第2エッチング工程では、第2区域内の第1導体層にて残存マスク部が成形され、第4エッチング工程では、当該残存マスク部が除去される。第2区域内の他の層（第2および第3導体層、第1および第2絶縁層）は、第1～第4エッチング工程にて積極的にエッチングされない。したがって、第2区域内の第1導体層以外の層が第1～第4エッチング工程でのエッチング処理以外のエッチング処理によりエッチングされない場合、第2区域には、第2および第3導体層ならびに第1および第2絶縁層の合計厚さを有する構造部が形成されることとなる。また、第

1～第4エッチング工程でのエッチング処理以外の所定のエッチング処理を行うことにより、第2区域には、異なる厚さを有する構造部を形成することが可能である。例えば、第4エッチング工程の後に第2区域内の第1絶縁層を必要に応じてエッチング除去することができる。第4エッチング工程までに又は第4エッチング工程の後に、第3導体層の側から所定のエッチング処理を行うことにより、第2区域内の、第3導体層を、または、第3導体層および第2絶縁層を、必要に応じて除去することもできる。

#### 【0022】

第1導体層の外表面には、第1エッチング工程にていずれのマスクパターンによっても被覆されない領域が存在する。材料基板の第1導体層から第3導体層にわたって基板厚み方向に延び且つ第1導体層外表面がいずれのマスクパターンによっても被覆されない立体区域（第3区域）においては、第1導体層は、第1および第2エッチング工程にてエッチングされ、第1絶縁層は、第3エッチング工程にてエッチングされ、第2導体層は、第4エッチング工程にて、少なくとも厚さ方向の途中までエッチングされる。第4エッチング工程にて第3区域内の第2導体層が除去され、且つ、第3区域内の第3導体層が第1～第4エッチング工程でのエッチング処理以外のエッチング処理によりエッチングされない場合、第3区域には、第3導体層および第2絶縁層の合計厚さを有する構造部が形成されることとなる。また、第1～第4エッチング工程でのエッチング処理以外の所定のエッチング処理を行うことにより、第3区域には、異なる厚さを有する構造部を形成することが可能である。例えば、第4エッチング工程にて第3区域内の第2導体層を除去する場合、第4エッチング工程の後に第3区域内の第2絶縁層を必要に応じてエッチング除去することができる。第4エッチング工程までに又は第4エッチング工程の後に、第3導体層の側から所定のエッチング処理を行うことにより、第3区域内の第3導体層の一部を必要に応じて除去することもできる。

#### 【0023】

このように、本発明の第1の側面に係るマイクロ構造体製造方法によると、製造される単一のマイクロ構造体における複数の構造部の各々について、高い自由度で所望の厚さ寸法を実現することができる。このようなマイクロ構造体製造方法は、所定の素子としてのマイクロ構造体における所望の機能に応じて各構造部を適切に成形するうえで好適である。

#### 【0024】

本発明の第1の側面における第4エッチング工程では、好ましくは、第2導体層において第3エッチング工程にて露出した箇所に対し、第2絶縁層に至るまでエッチング処理を施す。このような構成によると、上述の第3区域にて、少なくとも第1導体層に由来する部位、第1絶縁層に由来する部位、および第2導体層に由来する部位を有さない、構造部を形成することができる。

#### 【0025】

本発明の第1の側面に係る方法は、好ましくは、第3導体層に対し、当該第3導体層上に形成された第3マスクパターンを介して、第2絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための、第5エッチング工程を更に含む。このような構成は、上述の第1～第3区域に形成される複数の構造部の各々について個別に所望される厚さを高い自由度で実現したり、所定の構造部に対して必要に応じて所定の部分形状を形成するうえで、好適である。材料基板に対して第3導体層側からエッチング処理を行う本第5エッチング工程は、第1導体層側からのエッチング処理に係る第1エッチング工程の前、第4エッチング工程の後、或は、第1エッチング工程の後から第4エッチング工程の前までの、いずれのタイミングで行ってもよい。本発明の第1の側面において第3導体層側からエッチング処理を行う後述の他のエッチング工程のタイミングについても、同様である。

#### 【0026】

本発明の第1の側面における好ましい実施の形態では、第1マスクパターンは歯状電極用マスク部を含み、第1および第2エッチング工程では、第1導体層において、歯状電極部の第1導体部が歯状電極用マスク部に対応して成形され、第3エッチング工程では、第

1 絶縁層において、櫛歯電極部の絶縁部が第1導体部に対応して成形され、第4エッチング工程では、第2導体層において、櫛歯電極部の第2導体部が絶縁部に対応して成形される。例えば「第1導体層において、櫛歯電極部の第1導体部が櫛歯電極用マスク部に対応して成形される」とは、櫛歯電極部の一部を構成することとなる第1導体部が、櫛歯電極用マスク部のパターン形状に相当するパターン形状を第1導体層表面に伴うように成形されることを意味する。このような構成により、第1導体層由来の第1導体部、第1絶縁層由来の絶縁部、および第2導体層由来の第2導体部、よりなる積層構造を有する櫛歯電極部を形成することができる。所定の素子としてのマイクロ構造体には、互いの間に静電気を生ずるための一組のいわゆる櫛歯電極が必要な場合がある。

#### 【0027】

本発明の第1の側面における他の好ましい実施の形態では、第3マスクパターンは櫛歯電極用第1マスク部を含み、第2マスクパターンは櫛歯電極用第2マスク部を含み、第5エッチング工程では、第3導体層において、櫛歯電極部の第1導体部が櫛歯電極用第1マスク部に対応して成形され、第2エッチング工程では、第1導体層において、櫛歯電極用第2マスク部に対応して櫛歯電極用残存マスク部が成形され、第4エッチング工程では、第2導体層において櫛歯電極部の第2導体部が櫛歯電極用残存マスク部に対応して成形され、且つ、櫛歯電極用残存マスク部はエッチング除去される。これとともに、本方法は、第1導体部および第2導体部の間に介在する、櫛歯電極部の絶縁部を、第2絶縁層において成形するための、第6エッチング工程を更に含む。このような構成により、第3導体層由来の第1導体部、第2絶縁層由来の絶縁部、および第2導体層由来の第2導体部、よりなる積層構造を有する櫛歯電極部を形成することができる。

#### 【0028】

本発明の第1の側面における他の好ましい実施の形態では、第3マスクパターンは第1櫛歯電極用第1マスク部を含み、第2マスクパターンは第1櫛歯電極用第2マスク部を含み、第1マスクパターンは第2櫛歯電極用マスク部を含み、第5エッチング工程では、第3導体層において、第1櫛歯電極部の第1導体部が第1櫛歯電極用第1マスク部に対応して成形され、第2エッチング工程では、第1導体層において、第1櫛歯電極用第2マスク部に対応して第1櫛歯電極用残存マスク部が成形され、且つ、第2櫛歯電極用マスク部に対応して第2櫛歯電極部の第1導体部が成形され、第3エッチング工程では、第1絶縁層において、第2櫛歯電極部の絶縁部が第2櫛歯電極の第1導体部に対応して成形され、第4エッチング工程では、第2導体層において第1櫛歯電極部の第2導体部が第1櫛歯電極用残存マスク部に対応して成形され、第2導体層において第2櫛歯電極部の第2導体部が第2櫛歯電極部の絶縁部に対応して成形され、且つ、第1櫛歯電極用残存マスク部はエッチング除去される。これとともに、当該好ましい実施の形態では、第1櫛歯電極部の第1および第2導体部の間に介在する、第1櫛歯電極部の絶縁部を、第2絶縁層において成形するための、第6エッチング工程が更に行われる。このような構成により、第3導体層由来の第1導体部、第2絶縁層由来の絶縁部、および第2導体層由来の第2導体部よりなる積層構造を有する第1櫛歯電極部と、第1導体層由来の第1導体部、第1絶縁層由来の絶縁部、および第2導体層由来の第2導体部よりなる積層構造を有する第2櫛歯電極部とを、形成することができる。また、このような構成では、第1および第2櫛歯電極部は、基板厚さ方向において部分的に重なる。

#### 【0029】

本発明の第2の側面によると、第1導体層と、第2導体層と、第3導体層と、第1導体層および第2導体層の間に介在する第1絶縁層と、第2導体層および第3導体層の間に介在する第2絶縁層と、を含む積層構造を有する材料基板に対して加工を施すことによりマイクロ構造体を製造するための方法が提供される。この方法は、第1導体層に対し、当該第1導体層上に形成された第1マスクパターンおよび第2マスクパターンを介して、第1絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための、第1エッチング工程と、第1絶縁層において第1エッチング工程にて露出した箇所に対し、第2導体層に至るまでエッチング処理を施すための、第2エッチング工程と、第2マスクパターンを除去するための工程と、第

1 導体層に対して第1マスクパターンを介してエッチング処理を施し、且つ、第2導体層において第2エッチング工程にて露出した箇所に対してエッチング処理を施すための、第3エッチング工程と、を含む。

【0030】

このような方法によると、製造されるマイクロ構造体において、厚さの異なる複数の構造部の各々について高い自由度で所望の厚さ寸法を実現することができる。

【0031】

本発明の第2の側面における第1マスクパターンは、第1導体層の外表面における所定の領域を被覆する。材料基板の第1導体層から第3導体層にわたって基板厚み方向に延び且つ第1導体層外表面が第1マスクパターンにより被覆される立体区域（第1区域）においては、各層（第1～第3導体層、第1および第2絶縁層）は、第1～第3エッチング工程にて積極的にエッチングされない。したがって、第1区域内の各層が第1～第3エッチング工程でのエッチング処理以外のエッチング処理によりエッチングされない場合、第1区域には、第1～第3導体層ならびに第1および第2絶縁層の合計厚さを有する構造部が形成されることとなる。また、第1～第3エッチング工程でのエッチング処理以外の所定のエッチング処理を行うことにより、第1区域には、異なる厚さを有する構造部を形成することが可能である。

【0032】

本発明の第2の側面における第2マスクパターンは、第1導体層の外表面における所定の領域を被覆する。材料基板の第1導体層から第3導体層にわたって基板厚み方向に延び且つ第1導体層外表面が第2マスクパターンにより被覆される立体区域（第2区域）においては、第1導体層は、第1および第2エッチング工程では積極的にエッチングされず、第3エッチング工程にて、少なくとも厚さ方向の途中までエッチングされる。第2区域の他の層（第2および第3導体層、第1および第2絶縁層）は、第1～第3エッチング工程にて積極的にエッチングされない。したがって、第2区域内の第1導体層以外の層が第1～第3エッチング工程でのエッチング処理以外のエッチング処理によりエッチングされない場合、第2区域には、第2および第3導体層ならびに第1および第2絶縁層の合計厚さを有する構造部が形成されることとなる。また、第1～第3エッチング工程でのエッチング処理以外の所定のエッチング処理を行うことにより、第2区域には、異なる厚さを有する構造部を形成することが可能である。

【0033】

第1導体層の外表面には、第1エッチング工程にていずれのマスクパターンによっても被覆されない領域が存在する。材料基板の第1導体層から第3導体層にわたって基板厚み方向に延び且つ第1導体層外表面がいずれのマスクパターンによっても被覆されない立体区域（第3区域）においては、第1導体層は、第1エッチング工程にて除去され、第1絶縁層は、第2エッチング工程にて除去され、第2導体層は、第3エッチング工程にて、少なくとも厚さ方向の途中までエッチングされる。第3エッチング工程にて第3区域内の第2導体層が除去され、且つ、第3区域内の第3導体層が第1～第3エッチング工程でのエッチング処理以外のエッチング処理によりエッチングされない場合、第3区域には、第3導体層および第2絶縁層の合計厚さを有する構造部が形成されることとなる。また、第1～第3エッチング工程でのエッチング処理以外の所定のエッチング処理を行うことにより、第3区域には、異なる厚さを有する構造部を形成することが可能である。

【0034】

このように、本発明の第2の側面に係るマイクロ構造体製造方法によると、第1の側面に関して上述したのと同様に、製造される単一のマイクロ構造体における複数の構造部の各々について、高い自由度で所望の厚さ寸法を実現することができる。このようなマイクロ構造体製造方法は、所定の素子としてのマイクロ構造体における所望の機能に応じて各構造部を適切に成形するうえで好適である。

【0035】

本発明の第2の側面における第3エッチング工程では、好ましくは、第1導体層に対し

て第1絶縁層に至るまでエッチング処理を施し、且つ、第2導体層において第2エッチング工程にて露出した箇所に対して第2絶縁層に至るまでエッチング処理を施す。このような構成によると、上述の第2区域にて、少なくとも第1導体層に由来する部位を有さない構造部を形成することができ、且つ、上述の第3区域にて、少なくとも第1導体層に由来する部位、第1絶縁層に由来する部位、および第2導体層に由来する部位を有さない、構造部を形成することができる。

#### 【0036】

本発明の第2の側面に係る方法は、好ましくは、第3導体層に対し、当該第3導体層上に形成された第3マスクパターンを介して、第2絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための、第4エッチング工程を更に含む。このような構成は、上述の第1～第3区域に形成される複数の構造部の各々について個別に所望される厚さを高い自由度で実現したり、所定の構造部に対して必要に応じて所定の部分形状を形成するうえで、好適である。材料基板に対して第3導体層側からエッチング処理を行う本第4エッチング工程は、第1導体層側からのエッチング処理に係る第1エッチング工程の前、第3エッチング工程の後、或は、第1エッチング工程の後から第3エッチング工程の前までの、いずれのタイミングで行ってもよい。本発明の第2の側面において第3導体層側からエッチング処理を行う後述の他のエッチング工程のタイミングについても、同様である。

#### 【0037】

本発明の第2の側面における好ましい実施の形態では、第1マスクパターンは櫛歯電極用マスク部を含み、第1エッチング工程では、第1導体層において、櫛歯電極部の第1導体部が櫛歯電極用マスク部に対応して成形され、第2エッチング工程では、第1絶縁層において、櫛歯電極部の絶縁部が第1導体部に対応して成形され、第3エッチング工程では、第2導体層において、櫛歯電極部の第2導体部が絶縁部に対応して成形される。このような構成により、第1導体層由来の第1導体部、第1絶縁層由来の絶縁部、および第2導体層由来の第2導体部、よりなる積層構造を有する櫛歯電極部を形成することができる。

#### 【0038】

本発明の第2の側面における他の好ましい実施の形態では、第3マスクパターンは櫛歯電極用第1マスク部を含み、第2マスクパターンは櫛歯電極用第2マスク部を含み、第4エッチング工程では、第3導体層において、櫛歯電極部の第1導体部が櫛歯電極用第1マスク部に対応して成形され、第1エッチング工程では、第1導体層において、櫛歯電極用第2マスク部に対応して櫛歯電極用残存マスク部が成形され、第3エッチング工程では、第2導体層において、櫛歯電極部の第2導体部が櫛歯電極用残存マスク部に対応して成形されつつ、櫛歯電極用残存マスク部はエッチング除去される。これとともに、当該好ましい実施の形態では、第1導体部および第2導体部の間に介在する、櫛歯電極部の絶縁部を、第2絶縁層において成形するための、第5エッチング工程が更に行われる。このような構成により、第3導体層由来の第1導体部、第2絶縁層由来の絶縁部、および第2導体層由来の第2導体部、よりなる積層構造を有する櫛歯電極部を形成することができる。

#### 【0039】

本発明の第2の側面における他の好ましい実施の形態では、第3マスクパターンは第1櫛歯電極用第1マスク部を含み、第2マスクパターンは第1櫛歯電極用第2マスク部を含み、第1マスクパターンは第2櫛歯電極用マスク部を含み、第4エッチング工程では、第3導体層において、第1櫛歯電極部の第1導体部が第1櫛歯電極用第1マスク部に対応して成形され、第1エッチング工程では、第1導体層において、第1櫛歯電極用第2マスク部に対応して第1櫛歯電極用残存マスク部が成形され、且つ、第2櫛歯電極用マスク部に対応して第2櫛歯電極部の第1導体部が成形され、第2エッチング工程では、第1絶縁層において、第2櫛歯電極部の絶縁部が第2櫛歯電極部の第1導体部に対応して成形され、第3エッチング工程では、第2導体層において第1櫛歯電極部の第2導体部が第1櫛歯電極用残存マスク部に対応して成形され、第2導体層において第2櫛歯電極部の第2導体部が第2櫛歯電極部の絶縁部に対応して成形され、且つ、第1櫛歯電極用残存マスク部はエッチング除去される。これとともに、当該好ましい実施の形態では、第1櫛歯電極部の第

1 および第2導体部の間に介在する、第1櫛歯電極部の絶縁部を、第2絶縁層において成形するための、第5エッチング工程が更に行われる。このような構成により、第3導体層由来の第1導体部、第2絶縁層由来の絶縁部、および第2導体層由来の第2導体部よりなる積層構造を有する第1櫛歯電極部と、第1導体層由来の第1導体部、第1絶縁層由来の絶縁部、および第2導体層由来の第2導体部よりなる積層構造を有する第2櫛歯電極部とを、形成することができる。また、このような構成では、第1および第2櫛歯電極部は、厚さ方向において部分的に重なる。

#### 【0040】

本発明の第2の側面に係る方法は、好ましくは、第2絶縁層において第4エッチング工程にて露出した箇所に対して第2導体層に至るまでエッチング処理を施すための第5エッチング工程と、第2導体層において第5エッチング工程にて露出した箇所に対して第1絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための第6エッチング工程と、を更に含む。このような構成は、上述の第1～第3区域に形成される複数の構造部の各々について個別に所望される厚さを高い自由度で実現したり、所定の構造部に対して必要に応じて所定の部分形状を形成するうえで、好適である。

#### 【0041】

本発明の第2の側面における他の好ましい実施の形態では、第3マスクパターンは櫛歯電極用マスク部を含み、第4エッチング工程では、第3導体層において、櫛歯電極部の第1導体部が櫛歯電極用マスク部に対応して成形され、第5エッチング工程では、第2導体層において、櫛歯電極部の絶縁部が第1導体部に対応して成形され、第6エッチング工程では、第2導体層において、櫛歯電極部の第2導体部が絶縁部に対応して成形される。このような構成によると、第3導体層由来の第1導体部、第2絶縁層由来の絶縁部、および第2導体層由来の第2導体部、よりなる積層構造を有する櫛歯電極部を形成することができる。

#### 【0042】

本発明の第2の側面における他の好ましい実施の形態では、第3マスクパターンは櫛歯電極用第1マスク部を含み、第1マスクパターンは櫛歯電極用第2マスク部を含み、第4エッチング工程では、第3導体層において、櫛歯電極部の第1導体部が櫛歯電極用第1マスク部に対応して成形され、第5エッチング工程では、第2絶縁層において、櫛歯電極部の第1絶縁部が第1導体部に対応して成形され、第6エッチング工程では、第2導体層において、櫛歯電極部の第2導体部が第1絶縁部に対応して成形され、第3エッチング工程では、第1導体層において、櫛歯電極部の第3導体部が櫛歯電極用第2マスク部に対応して成形される。これとともに、当該好ましい実施の形態では、第2導体部および第3導体部の間に介在する、櫛歯電極部の第2絶縁部を、第1絶縁層において成形するための、第7エッチング工程が更に行われる。このような構成により、第3導体層由来の第1導体部、第2絶縁層由来の第1絶縁部、第2導体層由来の第2導体部、第1絶縁層由来の第2絶縁部、および第1導体層由来の第3導体部、よりなる積層構造を有する櫛歯電極部を形成することができる。

#### 【0043】

本発明の第2の側面における他の好ましい実施の形態では、第3マスクパターンは第1櫛歯電極用マスク部および第2櫛歯電極用第1マスク部を含み、第1マスクパターンは第2櫛歯電極用第2マスク部を含み、第4エッチング工程では、第3導体層において、第1櫛歯電極用マスク部に対応して第1櫛歯電極部の第1導体部が成形され、且つ、第2櫛歯電極用第1マスク部に対応して第2櫛歯電極部の第1導体部が成形され、第5エッチング工程では、第2絶縁層において、第1櫛歯電極部の第1導体部に対応して第1櫛歯電極部の絶縁部が成形され、且つ、第2櫛歯電極部の第1導体部に対応して第2櫛歯電極部の第1絶縁部が成形され、第6エッチング工程では、第2導体層において、第1櫛歯電極部の絶縁部に対応して第1櫛歯電極部の第2導体部が成形され、且つ、第2櫛歯電極部の第1絶縁部に対応して第2櫛歯電極部の第2導体部が成形され、第3エッチング工程では、第1導体層において、第2櫛歯電極用第2マスク部に対応して第2櫛歯電極部の第3導体部



が成形される。これとともに、当該好ましい実施の形態では、第2櫛歯電極部における第2および第3導体部の間に介在する、第2櫛歯電極部の第2絶縁部を、第1絶縁層において成形するための、第7エッチング工程が更に行われる。このような構成により、第3導体層由来の第1導体部、第2絶縁層由来の絶縁部、および第2導体層由来の第2導体部よりなる積層構造を有する第1櫛歯電極部と、第3導体層由来の第1導体部、第2絶縁層由来の第1絶縁部、第2導体層由来の第2導体部、第1絶縁層由来の第2絶縁部、および第1導体層由来の第3導体部よりなる積層構造を有する第2櫛歯電極部とを、形成することができる。また、このような構成では、第1および第2櫛歯電極部は、厚さ方向において部分的に重なる。

#### 【0044】

本発明の第2の側面に係る方法は、好ましくは、第3導体層に対し、当該第3導体層上に形成された第3マスクパターンおよび第4マスクパターンを介して、第2絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための、第4エッチング工程と、第2絶縁層において第4エッチング工程にて露出した箇所に対してエッチング処理を施すための第5エッチング工程と、第4マスクパターンを除去するための工程と、第3導体層に対して第3マスクパターンを介して第2絶縁層に至るまでエッチング処理を施し、且つ、第2導体層において第5エッチング工程にて露出した箇所に対して第1絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための、第6エッチング工程と、を更に含む。このような構成は、上述の第1～第3区域に形成される複数の構造部の各々について個別に所望される厚さを高い自由度で実現したり、所定の構造部に対して必要に応じて所定の部分形状を形成するうえで、好適である。

#### 【0045】

本発明の第2の側面における他の好ましい実施の形態では、第3マスクパターンは第1櫛歯電極用マスク部および第2櫛歯電極用第1マスク部を含み、第2マスクパターンは第2櫛歯電極用第2マスク部を含み、第4エッチング工程では、第3導体層において、第1櫛歯電極用マスク部に対応して第1櫛歯電極部が成形され、且つ、第2櫛歯電極用第1マスク部に対応して第2櫛歯電極用第1残存マスク部が成形され、第6エッチング工程では、第2導体層において第1櫛歯電極部に対応して第1櫛歯電極用残存マスク部が成形され、第2導体層において第2櫛歯電極用第1残存マスク部に対応して第2櫛歯電極部が成形され、且つ、第2櫛歯電極用第1残存マスク部がエッチング除去され、第1エッチング工程では、第1導体層において、第2櫛歯電極用第2マスク部に対応して第2櫛歯電極用第2残存マスク部が成形され、第3エッチング工程では、第1櫛歯電極用残存マスク部および第2櫛歯電極部第2残存マスク部はエッチング除去される。このような構成によると、互いの間に静電気力を生ずるための一組の櫛歯電極部の各々について、第1櫛歯電極用マスク部および第2櫛歯電極用第1マスク部により第3導体層上でパターンニングを行うことができる。同一面上で両電極部のパターンニングを行うことのできる本構成は、両電極部の位置合わせを高精度に又は容易に行ううえで好適である。

#### 【0046】

本発明の第1および第2の側面に係る方法は、好ましくは、第1絶縁層を貫通して第1導体層および第2導体層を電気的に接続するための第1導電連絡部を形成するための工程、並びに／または、第2絶縁層を貫通して第3導体層および第2導体層を電気的に接続するための第2導電連絡部を形成するための工程を、更に含む。このような構成によると、第1導体層に由来して形成される所定の部位と、第2導体層に由来して形成される所定の部位とを、電気的に接続したり、第3導体層に由来して形成される所定の部位と、第2導体層に由来して形成される所定の部位とを、電気的に接続することができる。

#### 【0047】

本発明の第1および第2の側面に係る方法は、好ましくは、第1絶縁層を貫通し、櫛歯電極部の各々において各導体部を電気的に接続するための第1導電連絡部を形成するための工程、および／または、第2絶縁層を貫通し、櫛歯電極部の各々において各導体部を電気的に接続するための第2導電連絡部を形成するための工程を、更に含む。このような構成により、単一の櫛歯電極部の有する複数の導体部を相互に電気的に接続することができ



る。

【発明を実施するための最良の形態】

【0048】

図1～図5は、本発明に係るマイクロ構造体製造方法により作製することのできるマイクロ構造体の一例であるマイクロミラー素子X1を表す。図1は、マイクロミラー素子X1の斜視図であり、図2はマイクロミラー素子X1の平面図である。また、図3～図5は、各々、図2の線III-III、線IV-IV、および線V-Vに沿った断面図である。

【0049】

マイクロミラー素子X1は、ミラー部110と、これを囲む内フレーム120と、これを囲む外フレーム130と、ミラー部110および内フレーム120を連結する一对のトーションバー140と、内フレーム120および外フレーム130を連結する一对のトーションバー150とを備える。ミラー部110と内フレーム120との間の離隔距離、および、内フレーム120と外フレーム130との間の離隔距離は、例えば10～200 $\mu$ mである。一对のトーションバー140は、内フレーム120に対するミラー部110の回転動作の回転軸心A1を規定する。一对のトーションバー150は、外フレーム130に対する内フレーム120およびこれに伴うミラー部110の回転動作の回転軸心A1'を規定する。これらトーションバー140、150は、両回転軸心A1、A1'が直交するように設けられている。図2では、トーションバー140、150よりも紙面手前方向に突き出る部位（後述のミラー面114を除く）が、ハッチングを付して表されている。また、マイクロミラー素子X1は、後述の材料基板S1からマイクロマシニング技術により形成されたものであり、当該材料基板S1は、後に詳述するように、シリコン層101、102、103と、シリコン層101、102の間の絶縁層104と、シリコン層102、103の間の絶縁層105とからなる積層構造を有する。図の簡潔化の観点より、図1においては、当該積層構造を表さない。

【0050】

ミラー部110は、本体部111および一对の櫛歯電極112、113を有する。本体部111の上面には、ミラー面114が設けられている。櫛歯電極112、113は、各々、複数の電極歯からなり、本体部111の一对の端部から延出している。

【0051】

内フレーム120は、本体部121、一对の櫛歯電極122、123、および一对の櫛歯電極124、125を有する。櫛歯電極122～125は、各々、複数の電極歯からなり、櫛歯電極122、123は、本体部121から内方に延出し、櫛歯電極124、125は、本体部121から外方に延出している。櫛歯電極122、123は、各々、ミラー部110の櫛歯電極112、113に対応する位置に設けられている。櫛歯電極112、122は、図4によく表れているように、ミラー部110が後述のように回転駆動する場合であっても互いに当接しないように配されており、且つ、厚さ方向Yにおいて部分的に重なり合う。同様に、櫛歯電極113、123も、ミラー部110が回転駆動する場合であっても互いに当接しないように配されており、且つ、厚さ方向Yにおいて部分的に重なり合う。

【0052】

一对のトーションバー140は、各々、図3によく表れているように、ミラー部110および内フレーム120よりも薄肉であり、ミラー部110の本体部111と内フレーム120の本体部121とに接続している。

【0053】

外フレーム130は、本体部131および一对の櫛歯電極132、133を有する。櫛歯電極132、133は、各々、複数の電極歯からなり、本体部131から内方に延出し、且つ、内フレーム120の櫛歯電極124、125に対応する位置に設けられている。櫛歯電極124、132は、ミラー部110が回転駆動する場合であっても互いに当接しないように配されており、且つ、図3および図4によく表れているように、厚さ方向Yにおいて部分的に重なり合う。同様に、櫛歯電極125、133も、ミラー部110が回転

駆動する場合であっても互いに当接しないように配されており、且つ、厚さ方向 Y において部分的に重なり合う。

#### 【0054】

一对のトーションバー 150 は、各々、図 5 によく表れているように、内フレーム 120 および外フレーム 130 よりも薄肉であり、内フレーム 120 の本体部 121 と外フレーム 130 の本体部 131 とに接続している。

#### 【0055】

このようなマイクロミラー素子 X1 において、櫛歯電極 112, 113, 122, 123 の各々に対して必要に応じて所望の電位を付与することにより、櫛歯電極 112, 122 間および／または櫛歯電極 113, 123 間に静電気力を発生させ、ミラー部 110 を内フレーム 120 に対して回転軸心 A1 まわりに回転変位させることができる。変位量は、付与電位を調整することにより、調節することができる。また、櫛歯電極 124, 125, 132, 133 の各々に対して必要に応じて所望の電位を付与することにより、櫛歯電極 124, 132 間および／または櫛歯電極 125, 133 間に静電気力を発生させ、内フレーム 120 およびこれに伴うミラー部 110 を外フレーム 130 に対して回転軸心 A1' まわりに回転変位させることができる。変位量は、付与電位を調整することにより、調節することができる。このようなミラー部 110 の回転駆動によって、ミラー部 110 上に設けられたミラー面 114 により反射される光の反射方向を切り換えることができる。

#### 【0056】

図 6～図 10 は、本発明の第 1 の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法における一連の工程を表す。この方法は、マイクロマシニング技術により上述のマイクロミラー素子 X1 を製造するための一手法である。図 6～図 10 においては、図 10 (c) に示すミラー部 M1、トーションバー T1～T3、内フレーム F1, F2、一組の櫛歯電極 E1, E2、および外フレーム F3, F4 の形成過程を、一の断面の変化として表す。当該一の断面は、加工が施される材料基板（多層構造を有するウエハ）における単一のマイクロミラー素子形成区画に含まれる複数の所定箇所の断面を、モデル化して連続断面として表したものである。図 10 (c) におけるミラー部 M1 は、ミラー部 110 の一部位に相当する。トーションバー T1 は、トーションバー 140 に相当し、その延び方向の断面が表されている。内フレーム F1 は、内フレーム 120 の一部位に相当する。櫛歯電極 E1 は、櫛歯電極 112, 113, 124, 125 の一部に相当する。櫛歯電極 E2 は、櫛歯電極 122, 123, 132, 133 の一部に相当する。トーションバー T2 は、トーションバー 140, 150 に相当し、その横断面が表されている。内フレーム F2 は、内フレーム 120 の他の一部位に相当する。トーションバー T3 は、トーションバー 150 に相当し、その延び方向の断面が表されている。外フレーム F3 は、外フレーム 130 の一部位に相当する。外フレーム F4 は、外フレーム 130 の他の一部位に相当する。

#### 【0057】

第 1 の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法においては、まず、図 6 (a) に示すような材料基板 S1 を用意する。材料基板 S1 は、シリコン層 101, 102, 103 と、シリコン層 101, 102 の間の絶縁層 104 と、シリコン層 102, 103 の間の絶縁層 105 とからなる積層構造を有する。シリコン層 101～103 は、不純物をドーピングすることにより導電性が付与されたシリコン材料よりなる。不純物としては、B などの p 型不純物や、P および Sb などの n 型不純物を採用することができる。絶縁層 104, 105 は、例えば酸化物質材料よりなる。シリコン層 101～103 の厚さは、例えば、各々、200  $\mu\text{m}$ 、3  $\mu\text{m}$ 、および 100  $\mu\text{m}$  である。絶縁層 104, 105 の厚さは、各々、例えば 500 nm である。材料基板 S1 は、シリコン基板表面への酸化膜形成技術および表面酸化膜を介してのシリコン基板の接合技術を利用し、且つ、研削研磨法や化学機械研磨 (CMP) 法によるシリコン基板の厚さ調整技術を必要に応じて利用して、作製することができる。材料基板 S1 の作製過程において CMP 法を利用する場合、所定のシリコン基板ないしシリコン層について、高精度な厚さ寸法を実現することができる。

## 【0058】

次に、図6 (b) に示すように、シリコン層101, 103の表面に、各々、酸化膜11, 12を形成する。酸化膜11, 12は、CVD法により二酸化ケイ素をシリコン層101, 103上に成膜することにより形成することができる。或は、酸化膜11, 12は、熱酸化法（加熱温度：例えば900℃）によりシリコン層101, 103の表面を酸化することにより形成することができる。酸化膜11, 12の厚さは、例えば0.5～2μmである。本工程では、シリコン層11, 12の表面に酸化膜11, 12に代えて窒化膜を形成してもよい。窒化膜は、例えばNH<sub>3</sub>やN<sub>2</sub>を窒素源とするCVD法により、形成することができる。

## 【0059】

次に、図6 (c) に示すように、シリコン層101, 103上に、各々、所定の開口部を有するレジストパターン13, 14を形成する。レジストパターン13, 14の形成においては、まず、酸化膜11, 12上に液状のフォトレジストをスピンコーティングにより成膜する。次に、露光処理およびその後の現像処理を経て、当該フォトレジスト膜をパターンニングする。フォトレジストとしては、例えば、AZP4210（クラリアントジャパン製）やAZ1500（クラリアントジャパン製）を使用することができる。後出のレジストパターンについても、このようなフォトレジストの成膜ならびにその後の露光処理および現像処理を経て、形成することができる。

## 【0060】

次に、図6 (d) に示すように、レジストパターン13, 14をマスクとして酸化膜11, 12をエッチングする。エッチング手法としては、ドライエッチングまたはウエットエッチングを採用することができる。ドライエッチングを採用する場合、エッチングガスとしては、例えば、CF<sub>4</sub>やCHF<sub>3</sub>などを採用することができる。ウエットエッチングを採用する場合、エッチング液としては、例えば、フッ酸とフッ化アンモニウムからなるバッファードフッ酸（BHF）を使用することができる。酸化膜、酸化膜パターン、または絶縁層に対する後出のエッチング手法ないし除去手法としても、このようなドライエッチングやウエットエッチングを採用することができる。このような酸化膜11, 12のパターンニングの後、レジストパターン13, 14は、除去せずに残しておくのが好ましい。

## 【0061】

次に、図7 (a) に示すように、シリコン層101を貫通するホールH1'を形成し、シリコン層103を貫通するホールH2'を形成する。ホールH1'の形成においては、前工程にてパターンニングされた酸化膜11、或は、残存する場合にはレジストパターン13をマスクとして、DRIE（Deep Reactive Ion Etching）により、シリコン層101に対して絶縁層104に至るまでエッチング処理を行う。DRIEでは、エッチングと側壁保護とを交互に行うBoschプロセスにおいて、良好なエッチング処理を行うことができる。後出のDRIEについても、このようなBoschプロセスを採用することができる。一方、ホールH2'の形成においては、前工程にてパターンニングされた酸化膜12、或は、残存する場合にはレジストパターン14をマスクとして、DRIEにより、シリコン層103に対して絶縁層105に至るまでエッチング処理を行う。

## 【0062】

次に、図7 (b) に示すように、絶縁層104においてホールH1'に露出する箇所をエッチング除去することにより、シリコン層101に加えて絶縁層104を貫通するホールH1を形成し、絶縁層105においてホールH2'に露出する箇所をエッチング除去することにより、シリコン層103に加えて絶縁層105を貫通するホールH2を形成する。図6 (d) の工程を終えた後にレジストパターン13, 14を残しておく、当該レジストパターン13, 14は本工程においてもマスクとして機能することができ、効率的である。

## 【0063】

次に、図7 (c) に示すように、剥離液を作用させることにより、レジストパターン13, 14（前工程にて別のレジストパターンを使用した場合には当該別のレジストパター

ン)を剥離する。剥離液としては、AZリムーバ700(クラリアントジャパン製)を使用することができる。後出のレジストパターンの剥離に際しても、この剥離液を使用することができる。

#### 【0064】

次に、図7(d)に示すように、例えばCVD法により、ホールH1、H2の内部に導電材料P'を堆積させる。このとき、酸化膜11、12上にも堆積するまで、充分量の導電材料P'をホールH1、H2に供給する。導電材料P'としては、所定の不純物をドーピングさせたポリシリコンを採用することができる。或は、導電材料P'としては、CuやWなどの金属を採用してもよい。導電材料P'とシリコン層101~103との良好な電氣的接続を確保するうえでは、導電材料P'を堆積させる直前に、ホールH1、H2の表面における自然酸化膜を、BHFなどを作用させることにより除去しておくのが好ましい。

#### 【0065】

次に、図8(a)に示すように、シリコン層101、103の表面を露出させる。具体的には、所定のドライエッチングまたはウエットエッチングにより、ホールH1、H2外の導電材料P'をエッチング除去した後、酸化膜11、12をエッチング除去する。ポリシリコンよりなる導電材料P'の除去手法としてウエットエッチングを採用する場合、エッチング液としては水酸化カリウム水溶液やフッ硝酸水溶液(フッ酸および硝酸を含む)を使用することができる。本工程は、このような手法に代えて、ホールH1、H2外の導電材料P'および酸化膜11、12をCMP法により研磨して除去する手法を採用してもよい。本工程にて、材料基板S1に埋設されたプラグP1、P2が形成されることとなる。プラグP1は、シリコン層101とシリコン層102を電氣的に接続し、プラグP2は、シリコン層103とシリコン層102を電氣的に接続する。

#### 【0066】

次に、図8(b)に示すように、シリコン層103上にミラー面114を形成し、シリコン層101上に外部接続用の電極パッド15(図1~図5において図示せず)を形成する。ミラー面114の形成においては、まず、スパッタリング法により、シリコン層103に対して例えばCr(50nm)およびこれに続いてAu(200nm)を成膜する。次に、所定のマスクを介してこれら金属膜に対してエッチング処理を順次行うことにより、ミラー面114をパターン形成する。Auに対するエッチング液としては、例えば、ヨウ化カリウム-ヨウ素水溶液を使用することができる。Crに対するエッチング液としては、例えば硝酸第二セリウムアンモニウム水溶液を使用することができる。所定のパターン形状を有する電極パッド15の形成手法は、ミラー面114の形成手法と同一である。

#### 【0067】

次に、図8(c)に示すように、シリコン層101上に酸化膜パターン16を形成し、シリコン層103上には酸化膜パターン17を形成する。酸化膜パターン16は、内フレームF2、櫛歯電極E2、および外フレームF3、F4に対応するパターン形状を有し、酸化膜パターン17は、ミラー部M1、内フレームF1、F2、櫛歯電極E1、および外フレームF3、F4に対応するパターン形状を有する。酸化膜パターン16の形成においては、まず、CVD法により、シリコン層101の表面に、厚さが例えば1 $\mu$ mとなるまで例えば二酸化ケイ素を成膜する。次に、シリコン層101上の当該酸化膜について、所定のレジストパターンをマスクとしたエッチングによりパターンニングする。酸化膜パターン17および後出の酸化膜パターンについても、酸化物材料の成膜、酸化膜上のレジストパターンの形成、およびその後のエッチング処理、を経て形成される。

#### 【0068】

次に、図8(d)に示すように、酸化膜パターン17をマスクとして、DRIEにより、シリコン層103に対して絶縁層105に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、ミラー部M1の一部、内フレームF1、F2の一部、櫛歯電極E1の一部、および外フレームF3、F4の一部が成形される。

#### 【0069】

次に、図9(a)に示すように、シリコン層101上にレジストパターン18を形成す

る。レジストパターン 18 は、ミラー部 M1 の一部をマスクするとともに、内フレーム F1、トーションバー T1～T3、および櫛歯電極 E2 に対応するパターン形状を有する。

#### 【0070】

次に、図 9 (b) に示すように、酸化膜パターン 16 およびレジストパターン 18 をマスクとして、DRIE により、シリコン層 101 に対して所定の深さまでエッチング処理を行う。当該所定の深さは、トーションバー T1～T3 の厚さ、即ちシリコン層 102 の厚さに応じて適宜決定され、例えば  $10\mu\text{m}$  である。本工程のエッチング処理により、内フレーム F2 の一部、櫛歯電極 E2 の一部、および外フレーム F3、F4 の一部が成形される。本工程の後、図 9 (c) に示すように、レジストパターン 18 を除去する。

#### 【0071】

次に、図 9 (d) に示すように、酸化膜パターン 16 をマスクとして、DRIE により、シリコン層 101 に対して、櫛歯電極 E1 用の残存マスク部 101a およびトーションバー用の残存マスク部 101b が残存形成されるように、絶縁層 104 に至るまでエッチング処理を行う。残存マスク部 101a、101b は、併せて、前出のレジストパターン 18 に対応するパターン形状を有する。残存マスク部 101a、101b の厚さは、前工程における所定深さに略相当し、例えば  $10\mu\text{m}$  である。本工程のエッチング処理により、内フレーム F2 の一部、櫛歯電極 E2 の一部、および外フレーム F3、F4 の一部が成形される。

#### 【0072】

次に、図 10 (a) に示すように、残存マスク部 101a、101b を含むシリコン層 101 由来部位をマスクとして、絶縁層 104 に対してシリコン層 102 に至るまでエッチング処理を行う。本工程において、絶縁層 104 の一部が十分にエッチング除去される前に、酸化膜パターン 16 がマスクとして機能できない程度にまで除去されないよう、絶縁層 104 および酸化膜パターン 16 の厚さを設定しておく必要がある。或は、本工程においてエッチング選択性を利用すべく、シリコン層 101 に対するマスクとしては、酸化膜パターン 16 に代えて、窒化膜や金属膜よりなるパターンを採用してもよい。

#### 【0073】

次に、図 10 (b) に示すように、DRIE により、シリコン層 102 において前工程にて露出した箇所に対して絶縁層 105 に至るまでエッチング処理を行う。このとき、残存マスク部 101a、101b もエッチング除去される。本工程のエッチング処理により、ミラー部 M1 の一部、トーションバー T1～T3、内フレーム F1、F2 の一部、一組の櫛歯電極 E1、E2 の一部、および外フレーム F3、F4 の一部が成形される。この後、図 10 (c) に示すように、絶縁層 104、105 において露出している箇所、および、酸化膜パターン 16、17 を、エッチング除去する。

#### 【0074】

以上の一連の工程を経ることにより、ミラー部 M1、トーションバー T1～T3、内フレーム F1、F2、櫛歯電極 E1、E2、および外フレーム F3、F4 が形成され、図 1～図 5 に示すマイクロミラー素子 X1 が製造される。

#### 【0075】

本実施形態においては、図 9 (a) を参照して上述した工程の後、図 9 (b)～図 10 (b) を参照して上述した工程に代えて、図 11 に示す一連の工程を採用してもよい。図 9 (a) に示すようにシリコン層 101 上にレジストパターン 18 を形成した後、本代替手法においては、まず、図 11 (a) に示すように、酸化膜パターン 16 およびレジストパターン 18 をマスクとして、DRIE により、シリコン層 101 に対して絶縁層 104 に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、櫛歯電極 E1 用の残存マスク部 101a、トーションバー用の残存マスク部 101b、内フレーム F2 の一部、櫛歯電極 E2 の一部、および外フレーム F3、F4 の一部が成形される。次に、図 11 (b) に示すように、絶縁層 104 において前工程にて露出した箇所に対してシリコン層 102 に至るまでエッチング処理を行う。次に、レジストパターン 18 を除去した後、図 11 (c) に示すように、DRIE により、シリコン層 101 に対して酸化膜パターン 16 をマ

スクとして絶縁層 104 に至るまでエッチング処理するとともに、シリコン層 102 において前工程にて露出した箇所に対して絶縁層 105 に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、残存マスク部 101a, 101b が除去されるとともに、ミラー部 M1 の一部、トーションバー T1 ~ T3、内フレーム F1, F2 の一部、一組の櫛歯電極 E1, E2 の一部、および外フレーム F3, F4 の一部が成形される。この後、図 10 (c) を参照して上述した工程を経ることにより、図 1 ~ 図 5 に示すマイクロミラー素子 X1 が得られる。

#### 【0076】

本代替手法では、シリコン層 101 とシリコン層 102 の厚さの差が極めて大きい場合に、図 11 (c) を参照して上述した工程において、シリコン層 102 にノッチングが入りやすい。すなわち、シリコン層 102 にてノッチが形成されやすい。両シリコン層 101, 102 の厚さの差が極めて大きい場合、絶縁層 105 に至るまでシリコン層 102 がエッチングされた後から、絶縁層 104 に至るまでシリコン層 101 がエッチングされるまでの時間が過度に長くなり、当該長時間にわたって、シリコン層 102 はエッチング環境下に曝されるためである。したがって、両シリコン層 101, 102 の厚さの差が極めて大きい場合には、本代替手法よりも、図 9 (b) ~ 図 10 (b) を参照して上述した手法を採用する方が好ましい。

#### 【0077】

本実施形態においては、ミラー部 M1、内フレーム F1, F2、および外フレーム F3, F4 より薄肉であり且つ高精度の厚さ寸法を有するトーションバー T1 ~ T3 を形成することができる。図 6 (a) を参照して上述した材料基板 S1 の作製過程では、シリコン層 101, 103 より薄く且つ高精度の厚さ寸法を有するシリコン層 102 を形成することができ、トーションバー T1 ~ T3 は、このようなシリコン層 102 から当該シリコン層 102 と同一の厚さで成形されるからである。トーションバー T1 ~ T3 の厚さは、材料基板 S1 におけるシリコン層 102 の厚さを適宜設定することにより、調節することができる。ミラー部 M1、内フレーム F1, F2、および外フレーム F3, F4 の厚さについても、例えばシリコン層 102 の厚さに応じてシリコン層 101, 103 の厚さを適宜設定することにより、高精度に調節することができる。このように、第 1 の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法によると、製造される単一のマイクロミラー素子 X1 における複数の構造部（ミラー部 110、内フレーム 120、外フレーム 130、トーションバー 140, 150）の各々について、高い自由度で且つ高い精度で、所望の厚さ寸法を実現することができるのである。

#### 【0078】

本実施形態においては、ミラー部 110 や内フレーム 120 の自然状態時に厚さ方向 Y において部分的に重なり合う一組の櫛歯電極 E1, E2 を形成することができる。図 10 (c) に示すように、櫛歯電極 E1 は、導体部 E1a, E1b とこれらの間の絶縁部 E1c とからなる積層構造を有し、櫛歯電極 E2 は、導体部 E2a, E2b とこれらの間の絶縁部 E2c とからなる積層構造を有し、自然状態時には、シリコン層 102 に由来する導体部 E1b および導体部 E2b において両櫛歯電極 E1, E2 は重なり合う。自然状態とは、ミラー部 110 については、内フレーム 120 に対するミラー部 110 の回転角度が  $0^\circ$  である状態をいい、内フレーム 120 については、外フレーム 130 に対する内フレーム 120 の回転角度が  $0^\circ$  である状態をいうものとする。

#### 【0079】

このような櫛歯電極 E1, E2 は、可動部を適切に駆動するうえで好適である。具体的には、内フレーム 120 に対するミラー部 110 の回転角度が  $0^\circ$  であるときに、厚さ方向 Y において櫛歯電極 112, 122 が部分的に重なり合い且つ櫛歯電極 113, 123 が部分的に重なり合うので、ミラー部 110 を回転角度  $0^\circ$  から始動する場合であっても駆動電極間に効率よく静電気力を発生させることができる。また、ミラー部 110 の回転動作中、回転角度  $0^\circ$  およびその近傍にて二組の駆動電極のうちの少なくとも一方が回転動作方向において常に重なり合うところ、このような構成は、ミラー部 110 の駆動にお

いて、連続的な駆動力を適切に発生させるうえで好適である。これらとともに、外フレーム 130 に対する内フレーム 120 の回転角度が  $0^{\circ}$  であるときに、厚さ方向 Y において櫛歯電極 124, 132 が部分的に重なり合い且つ櫛歯電極 125, 133 が部分的に重なり合うので、内フレーム 120 を回転角度  $0^{\circ}$  から始動する場合であっても駆動電極間に効率よく静電気力を発生させることができる。また、内フレーム 120 の回転動作中、回転角度  $0^{\circ}$  およびその近傍にて二組の駆動電極のうちの少なくとも一方が回転動作方向において常に重なり合うところ、このような構成は、内フレーム 120 の駆動において、連続的な駆動力を適切に発生させるうえで好適である。

#### 【0080】

一組の櫛歯電極 E1, E2 が重なり合う程度、すなわち厚み方向 Y における櫛歯電極 E1, E2 のオーバーラップ部分の長さは、材料基板 S1 におけるシリコン層 102 の厚さを適宜設定することにより、高精度で調節することができる。厚さ方向 Y における櫛歯電極 E1 の長さは主にシリコン層 102, 103 の厚さに依存し、厚さ方向 Y における櫛歯電極 E2 の長さは主にシリコン層 101, 102 の厚さに依存し、当該二つの長さについては、各々、上述のようにして高い自由度で設定することができる。本実施形態では、櫛歯電極 E2 の方が櫛歯電極 E1 より長い。このような構成は、特にミラー部 110 の軽量化を図るうえで、好適である。

#### 【0081】

本実施形態においては、ミラー部 M1 は、シリコン層 102 に由来してトーションバー T1 (同じくシリコン層 102 に由来する) に連続する部位を有し、且つ、内フレーム F1 は、シリコン層 102 に由来してトーションバー T1 に連続する部位を有する。シリコン層 102 は上述のように導電性を有する。したがって、ミラー部 M1 (ミラー部 110) と内フレーム F1 (内フレーム 120) とは、トーションバー T1 (トーションバー 140) を介して電氣的に接続されている。また、内フレーム F2 は、シリコン層 102 に由来してトーションバー T3 (同じくシリコン層 102 に由来する) に連続する部位を有し、且つ、外フレーム F4 は、シリコン層 102 に由来してトーションバー T3 に連続する部位を有する。したがって、内フレーム F2 (内フレーム 120) と外フレーム F4 (外フレーム 130) とは、トーションバー T3 (トーションバー 150) を介して電氣的に接続されている。

#### 【0082】

本実施形態においては、外フレーム F3 は、シリコン層 101 に由来する部位、および、シリコン層 102 に由来する部位を有する。これら 2 つの部位は、上述のように導電性を有し、且つ、プラグ P1 により電氣的に接続されている。また、ミラー部 M1 は、シリコン層 102 に由来する部位、および、シリコン層 103 に由来する部位を有する。これら 2 つの部位は、上述のように導電性を有し、且つ、プラグ P2 により電氣的に接続されている。シリコン層 101 由来部位とシリコン層 102 由来部位とを電氣的に接続するためのプラグ P1、および、シリコン層 102 由来部位とシリコン層 103 由来部位とを電氣的に接続するためのプラグ P2 は、ミラー部 110、内フレーム 120、および外フレーム 130 の所定の箇所に適宜埋設することができる。プラグ P1 を適切な箇所に形成することにより、例えば、櫛歯電極 E2 の導体部 E2a, E2b を電氣的に接続することができる。同様に、プラグ P2 を適切な箇所に形成することにより、例えば、櫛歯電極 E1 の導体部 E1a, E1b を電氣的に接続することができる。

#### 【0083】

図 12 ~ 図 15 は、本発明に係るマイクロ構造体製造方法により作製することのできるマイクロ構造体の一例であるマイクロミラー素子 X2 を表す。図 12 は、マイクロミラー素子 X2 の平面図であり、図 13 ~ 図 15 は、各々、図 12 の線 XIII-XIII、線 XIV-XIV、および線 XV-XV に沿った断面図である。

#### 【0084】

マイクロミラー素子 X2 は、ミラー部 210 と、これを囲む内フレーム 220 と、これを囲む外フレーム 230 と、ミラー部 210 および内フレーム 220 を連結する一対のト

ーションバー 240 と、内フレーム 220 および外フレーム 230 を連結する一对のトーションバー 250 とを備える。ミラー部 210 と内フレーム 220 との間の離隔距離、および、内フレーム 220 と外フレーム 230 との間の離隔距離は、例えば  $10 \sim 200 \mu\text{m}$  である。一对のトーションバー 240 は、内フレーム 220 に対するミラー部 210 の回転動作の回転軸心 A2 を規定する。一对のトーションバー 250 は、外フレーム 230 に対する内フレーム 220 およびこれに伴うミラー部 210 の回転動作の回転軸心 A2' を規定する。これらトーションバー 240, 250 は、両回転軸心 A2, A2' が直交するように設けられている。図 12 では、トーションバー 240, 250 よりも紙面手前方向に突き出る部位（後出のミラー面 214 を除く）が、ハッチングを付して表されている。また、マイクロミラー素子 X2 は、後述の材料基板 S2 からマイクロマシニング技術により形成されたものであり、当該材料基板 S2 は、後に詳述するように、シリコン層 201, 202, 203 と、シリコン層 201, 202 の間の絶縁層 204 と、シリコン層 202, 203 の間の絶縁層 205 とからなる積層構造を有する。

#### 【0085】

ミラー部 210 は、本体部 211 および櫛歯電極 212, 213 を有する。本体部 211 の上面には、ミラー面 214 が設けられている。本体部 211 は、本実施形態では、周縁部を除いて薄肉に設けられている。本発明では、本体部 211 の薄肉部の強度を確保すべく、本体部 211 において、薄肉部の下方に所定のリブを形成してもよい。櫛歯電極 212, 213 は、各々、複数の電極歯からなり、本体部 211 の一对の端部から延出している。

#### 【0086】

内フレーム 220 は、本体部 221、一对の櫛歯電極 222, 223、および一对の櫛歯電極 224, 225 を有する。櫛歯電極 222 ~ 225 は、各々、複数の電極歯からなり、櫛歯電極 222, 223 は、本体部 221 から内方に延出し、櫛歯電極 224, 225 は、本体部 221 から外方に延出している。櫛歯電極 222, 223 は、各々、ミラー部 210 の櫛歯電極 212, 213 に対応する位置に設けられている。櫛歯電極 212, 222 は、図 14 および図 15 によく表れているように、厚さ方向 Y において重なり合う。同様に、櫛歯電極 213, 223 も、厚さ方向 Y において重なり合う。櫛歯電極 222, 223 の電極歯は、櫛歯電極 212, 213 の電極歯より、厚さ方向 Y において短い。

#### 【0087】

外フレーム 230 は、本体部 231、および、一对の櫛歯電極 232, 233 を有する。櫛歯電極 232, 233 は、各々、複数の電極歯からなり、本体部 231 から内方に延出し、且つ、内フレーム 220 の櫛歯電極 224, 225 に対応する位置に設けられている。櫛歯電極 224, 232 は、図 13 および図 14 によく表れているように、厚さ方向 Y において重なり合う。同様に、櫛歯電極 225, 233 も、厚さ方向 Y において重なり合う。また、櫛歯電極 232, 233 の電極歯は、櫛歯電極 224, 225 の電極歯より、厚さ方向 Y において長い。

#### 【0088】

一对のトーションバー 240 は、各々、ミラー部 210 の本体部 211 と内フレーム 220 の本体部 221 とに接続している。一对のトーションバー 250 は、各々、内フレーム 220 の本体部 221 と外フレーム 230 の本体部 231 とに接続している。

#### 【0089】

このようなマイクロミラー素子 X2 において、櫛歯電極 212, 213, 222, 223 の各々に対して必要に応じて所望の電位を付与することにより、櫛歯電極 212, 222 間および／または櫛歯電極 213, 223 間に静電気力を発生させ、ミラー部 210 を内フレーム 220 に対して回転軸心 A2 まわりに回転変位させることができる。変位量は、付与電位を調整することにより、調節することができる。また、櫛歯電極 224, 225, 232, 233 の各々に対して必要に応じて所望の電位を付与することにより、櫛歯電極 224, 232 間および／または櫛歯電極 225, 233 間に静電気力を発生させ、内フレーム 220 およびこれに伴うミラー部 210 を外フレーム 230 に対して回転軸心



A 2' まわりに回転変位させることができる。変位量は、付与電位を調整することにより、調節することができる。このようなミラー部 210 の回転駆動により、ミラー部 210 上に設けられたミラー面 214 により反射される光の反射方向を切り換えることができる。

#### 【0090】

図 16～図 20 は、本発明の第 2 の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法における一連の工程を表す。この方法は、マイクロマシニング技術により上述のマイクロミラー素子 X 2 を製造するための一手法である。図 16～図 20 においては、図 20 (d) に示すミラー部 M 2、内フレーム F 5、F 6、一組の櫛歯電極 E 3、E 4、および外フレーム F 7 の形成過程を、一の断面の変化として表す。当該一の断面は、加工が施される材料基板（多層構造を有するウエハ）における単一のマイクロミラー素子形成区画に含まれる複数の所定箇所の断面を、モデル化して連続断面として表したものである。図 20 (d) において、ミラー部 M 2 は、ミラー部 210 の一部位に相当する。内フレーム F 5 は、内フレーム 220 の一部位に相当する。櫛歯電極 E 3 は、櫛歯電極 222～225 の一部に相当する。櫛歯電極 E 4 は、櫛歯電極 212、213、232、233 の一部に相当する。内フレーム F 6 は、内フレーム 220 の他の一部位に相当する。外フレーム F 7 は、外フレーム 230 の一部位に相当する。

#### 【0091】

第 2 の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法においては、まず、図 16 (a) に示すような材料基板 S 2 を用意する。材料基板 S 2 は、シリコン層 201、202、203 と、シリコン層 201、202 の間の絶縁層 204 と、シリコン層 202、203 の間の絶縁層 205 とからなる積層構造を有する。シリコン層 201～203 は、不純物をドーピングすることにより導電性が付与されたシリコン材料よりなる。絶縁層 204、205 は、例えば酸化物材料よりなる。シリコン層 201～203 の厚さは、例えば、各々、200  $\mu$ m、100  $\mu$ m、および 20  $\mu$ m である。絶縁層 204、205 の厚さは、各々、例えば 500 nm である。材料基板 S 2 は、材料基板 S 1 の作製に関して上述した手法を利用して作製することができる。

#### 【0092】

次に、図 16 (b) に示すように、シリコン層 201 上に、金属膜 21 を形成する。金属膜 21 は、例えば、スパッタリング法により、シリコン層 201 に対して Cr (50 nm) およびこれに続いて Au (200 nm) を成膜することにより、形成することができる。後述するように、電極パッドを含む所定の配線パターンが当該金属膜 21 から形成される。したがって、そのような金属膜 21 の形成は、本実施形態のように、材料基板 S 2 (ウエハ) の清浄性の高い早期に行なうのが好ましい。

#### 【0093】

次に、図 16 (c) に示すように、シリコン層 203 上に、所定の開口部を有するレジストパターン 22 を形成する。次に、図 16 (d) に示すように、シリコン層 203 を貫通するホール H 3' を形成する。具体的には、ドライエッチングや異方性ウェットエッチングなどにより、レジストパターン 22 をマスクとして、シリコン層 203 に対して絶縁層 205 に至るまでエッチング処理する。

#### 【0094】

次に、図 17 (a) に示すように、絶縁層 205 においてホール H 3' に露出する箇所をエッチング除去することにより、シリコン層 203 に加えて絶縁層 205 を貫通するホール H 3 を形成する。エッチング手法としては、ドライエッチングを採用することができる。この後、図 17 (b) に示すように、剥離液を作用させることにより、レジストパターン 22 を剥離する。

#### 【0095】

次に、図 17 (c) に示すように、シリコン層 203 上およびホール H 3 内を被覆する金属膜 23 を形成する。金属膜 23 の形成手法は、例えば、金属膜 21 に関して上述したのと同様である。本実施形態では、シリコン層 203 が薄いので、図 17 (b) に表れて

いるようなテーパ状のホールH3であれば、スパッタリングや蒸着であっても金属材料をホールH3内面に適切に堆積させることができる。シリコン層203が厚い場合には、図16(d)を参照して上述したホールH3'の形成手法としてはDRIEを採用し、且つ、ホールH3内には、第1の実施形態に関して図7(d)および図8(a)を参照して上述たのと同様に、CVD法およびCMP法を利用して導電材料を充填するのが好ましい。本工程の後、図17(d)に示すように、所定のマスクを介して金属膜21, 23に対してエッチング処理を行うことにより、金属膜21において外部接続用の電極パッド24を含む所定の配線パターン(図12~図15において図示せず)を形成し、金属膜23においてミラー面214およびプラグP3を形成する。

#### 【0096】

次に、図18(a)に示すように、CVD法により、材料基板S2の両面に酸化膜25, 26を形成する。酸化膜25, 26は、例えば、酸化シリコンよりなり、1 $\mu$ mの厚みを有する。この後、図18(b)に示すように、酸化膜25をパターンニングして酸化膜パターン27を形成する。酸化膜パターン27は、ミラー部M2の一部、櫛歯電極E4、および外フレームF7に対応するパターン形状を有する。

#### 【0097】

次に、図18(c)に示すように、酸化膜26をパターンニングして酸化膜パターン28を形成する。具体的には、酸化膜26上にレジストパターン28'を形成した後、当該レジストパターン28'をマスクとして酸化膜26に対してエッチング処理を行う。酸化膜パターン28は、ミラー部M2、内フレームF5, F6、櫛歯電極E1、および外フレームF7に対応するパターン形状を有する。このような酸化膜パターン28の形成の後、レジストパターン28'は、除去せずに残しておく。

#### 【0098】

次に、図18(d)に示すように、ドライエッチングまたはウエットエッチングなどにより、シリコン層203において前工程にて露出した箇所に対して絶縁層205に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、ミラー部M2の一部、内フレームF5, F6の一部、櫛歯電極E3, F4の一部、および外フレームF7の一部が成形される。

#### 【0099】

次に、図19(a)に示すように、絶縁層205において前工程にて露出した箇所に対してシリコン層202に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、ミラー部M2の一部、内フレームF5, F6の一部、櫛歯電極E3, F4の一部、および外フレームF7の一部が成形される。本工程の後、剥離液を作用させることにより、レジストパターン28'を除去する。

#### 【0100】

次に、図19(b)に示すように、酸化膜パターン28をマスクとして、DRIEにより、シリコン層202に対して絶縁層204に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、ミラー部M2の一部、内フレームF5, F6、櫛歯電極E3、櫛歯電極F4の一部、および外フレームF7の一部が成形される。

#### 【0101】

次に、図19(c)に示すように、シリコン層201上に、所定の開口部を有するレジストパターン29を形成する。本工程では、レジストパターン29に代えて同一パターン形状の窒化膜パターンを形成してもよい。次に、図19(d)に示すように、レジストパターン29をマスクとして、DRIEにより、シリコン層201に対して絶縁層204に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、ミラー部M2の一部が成形される。

#### 【0102】

次に、図20(a)に示すように、絶縁層204において前工程にて露出した箇所に対してシリコン層202に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、ミラー部M2の一部が成形される。この後、図20(b)に示すように、レジストパターン2

9を除去する。

【0103】

次に、図20(c)に示すように、DRIEにより、シリコン層201に対して酸化膜パターン27をマスクとして絶縁層204に至るまでエッチング処理するとともに、図20(a)を参照して上述した工程にてシリコン層202において露出した箇所に対して絶縁層205に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、ミラー部M2の一部、櫛歯電極E4の一部、および外フレームF7の一部が成形される。この後、図20(d)に示すように、絶縁層204、205において露出している箇所、および、酸化膜パターン27、28を、エッチング除去する。

【0104】

以上の一連の工程を経ることにより、ミラー部M2、内フレームF5、F6、櫛歯電極E3、E4、および外フレームF7が形成され、図12～図15に示すマイクロミラー素子X2が製造される。

【0105】

本実施形態においては、周縁部を除く箇所が内フレームF5、F6、櫛歯電極E3、E4、および外フレームF7より薄肉なミラー部M2を形成することができる。ミラー部M2における当該薄肉箇所は材料基板S2におけるシリコン層203の厚さに相当する。したがって、材料基板S2におけるシリコン層203の厚さを適宜設定することにより、ミラー部M2の薄肉部の厚さ調節し、ミラー部M2（ミラー部210）について所望の軽量化を図ることができる。また、本実施形態では、厚さ方向Yにおける櫛歯電極E3の長さについて、シリコン層203に応じて主にシリコン層202の厚さを適宜設定することにより、高精度に調節することができる。これとともに、厚さ方向Yにおける櫛歯電極E4の長さについて、シリコン層203、202に応じて主にシリコン層201の厚さを適宜設定することにより、高精度に調節することができる。このように、第2の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法によると、製造される単一のマイクロミラー素子X2において厚さの異なるミラー部M2および櫛歯電極E3、E4の各々について、高い自由度で且つ高い精度で、所望の厚さ寸法を実現することができるのである。マイクロミラー素子X2は、薄肉のため軽量のミラー部M2と、厚さ方向Yにおいて分厚い櫛歯電極E4を含む一組の櫛歯電極E3、E4とを備えるので、駆動電圧の低減や駆動速度の向上を図るのに適している。

【0106】

本実施形態においては、上述のように、厚さ方向Yにおいて重なり合う一組の櫛歯電極E3、E4を形成することができる。櫛歯電極E3は、導体部E3a、E3bとこれらの間の絶縁部E3cとからなる積層構造を有し、櫛歯電極E4は、導体部E4a、E4b、E4cと絶縁部E4d、E4eとからなる積層構造を有する。櫛歯電極E3の全体と、櫛歯電極E4の導体部E4a、E4bおよび絶縁部E4dとが、厚さ方向Yにおいて重なり合う。

【0107】

本実施形態においては、第1の実施形態において上述した手法により、シリコン層201由来部位とシリコン層202由来部位とを電氣的に接続するためのプラグP1、および、シリコン層202由来部位とシリコン層203由来部位とを電氣的に接続するためのプラグP2を、ミラー部210、内フレーム220、および外フレーム230の所定の箇所に適宜埋設してもよい。プラグP1を適切な箇所に形成することにより、櫛歯電極E4の導体部E4b、E4cを電氣的に接続することが可能である。同様に、プラグP2を適切な箇所に形成することにより、櫛歯電極E3の導体部E3a、E3bを電氣的に接続することが可能であり、また、櫛歯電極E4の導体部E4a、E4bを電氣的に接続することが可能である。

【0108】

図21～図24は、本発明に係るマイクロ構造体製造方法により作製することのできるマイクロ構造体の一例であるマイクロミラー素子X3を表す。図21は、マイクロミラー

素子X3の平面図であり、図22～図24は、各々、図21の線XXII-XXII、線XXIII-X  
XIII、および線XXIV-XXIVに沿った断面図である。

#### 【0109】

マイクロミラー素子X3は、ミラー部310と、これを囲む内フレーム320と、これ  
を囲む外フレーム330と、ミラー部310および内フレーム320を連結する一対のト  
ーションバー340と、内フレーム320および外フレーム330を連結する一対のト  
ーションバー350とを備える。ミラー部310と内フレーム320との間の離隔距離、お  
よび、内フレーム320と外フレーム330との間の離隔距離は、例えば10～200 $\mu$   
mである。一対のトーションバー340は、内フレーム320に対するミラー部310の  
回転動作の回転軸心A3を規定する。一対のトーションバー350は、外フレーム330  
に対する内フレーム320およびこれに伴うミラー部310の回転動作の回転軸心A3'  
を規定する。これらトーションバー340、350は、両回転軸心A3、A3'が直交す  
るように設けられている。図21では、トーションバー340、350よりも紙面手前方  
向に突き出る部位（後出のミラー面314を除く）が、ハッチングを付して表されてい  
る。また、マイクロミラー素子X3は、後述の材料基板S3からマイクロマシニング技術に  
より形成されたものであり、当該材料基板S3は、後に詳述するように、シリコン層30  
1、302、303と、シリコン層301、302の間の絶縁層304と、シリコン層3  
02、303の間の絶縁層305とからなる積層構造を有する。

#### 【0110】

ミラー部310は、本体部311および櫛歯電極312、313を有する。本体部31  
1の上面には、ミラー面314が設けられている。櫛歯電極312、313は、各々、複  
数の電極歯からなり、本体部311の一対の端部から延出している。

#### 【0111】

内フレーム320は、本体部321、一対の櫛歯電極322、323、および一対の櫛  
歯電極324、325を有する。櫛歯電極322～325は、各々、複数の電極歯からな  
り、櫛歯電極322、323は、本体部321から内方に延出し、櫛歯電極324、32  
5は、本体部321から外方に延出している。櫛歯電極322、323は、各々、ミラ  
ー部310の櫛歯電極312、313に対応する位置に設けられている。櫛歯電極312、  
322は、図23によく表れているように、ミラー部310が後述のように回転駆動す  
る場合であっても互いに当接しないように配されている。同様に、櫛歯電極313、323  
も、ミラー部310が回転駆動する場合であっても互いに当接しないように配されてお  
り。

#### 【0112】

一対のトーションバー340は、各々、図22によく表れているように、ミラー部31  
0および内フレーム320よりも薄肉であり、ミラー部310の本体部311と内フレ  
ーム320の本体部321とに接続している。

#### 【0113】

外フレーム330は、本体部331、および、一対の櫛歯電極332、333を有する。  
櫛歯電極332、333は、各々、複数の電極歯からなり、本体部331から内方に延  
出し、且つ、内フレーム320の櫛歯電極324、325に対応する位置に設けられてい  
る。櫛歯電極324、332は、ミラー部310が後述のように回転駆動する場合であ  
っても互いに当接しないように配されている。同様に、櫛歯電極325、333も、ミラ  
ー部310が回転駆動する場合であっても互いに当接しないように配されている。外フレ  
ーム330の本体部331は、図22～図24によく表れているように、基板厚み方向Yに  
おいて櫛歯電極322、323、332、333よりも下方に長い。このような外フレ  
ーム330を有するため、マイクロミラー素子X3は、スペーサなどを介さずに回路基板に  
実装することが可能である。本体部331の例えば図23中の下端を介してマイクロミ  
ラー素子X3を所定の回路基板に実装すると、本体部331において他の部位より下方に延  
出する部位により、内フレーム320の本体部321や櫛歯電極322、323と回路基  
板との間に所定距離が確保される。この距離が十分に長い場合、内フレーム320が後述

のように回転動作しても、内フレーム 320 の本体部 321 や櫛歯電極 322, 323 が回路基板に当接するのを回避することが可能である。

#### 【0114】

一对のトーションバー 350 は、各々、図 24 によく表れているように、内フレーム 320 および外フレーム 330 よりも薄肉であり、内フレーム 320 の本体部 321 と外フレーム 330 の本体部 331 とに接続している。

#### 【0115】

このようなマイクロミラー素子 X3 において、櫛歯電極 312, 313, 322, 323 の各々に対して必要に応じて所望の電位を付与することにより、櫛歯電極 312, 322 間および／または櫛歯電極 313, 323 間に静電気力を発生させ、ミラー部 310 を内フレーム 320 に対して回転軸心 A3 まわりに回転変位させることができる。変位量は、付与電位を調整することにより、調節することができる。また、櫛歯電極 324, 325, 332, 333 の各々に対して必要に応じて所望の電位を付与することにより、櫛歯電極 324, 332 間および／または櫛歯電極 325, 333 間に静電気力を発生させ、内フレーム 320 およびこれに伴うミラー部 310 を外フレーム 330 に対して回転軸心 A3' まわりに回転変位させることができる。変位量は、付与電位を調整することにより、調節することができる。このようなミラー部 310 の回転駆動により、ミラー部 310 上に設けられたミラー面 314 により反射される光の反射方向を切り換えることができる。

#### 【0116】

図 25～図 27 は、本発明の第 3 の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法における一連の工程を表す。この方法は、マイクロマシニング技術により上述のマイクロミラー素子 X3 を製造するための一手法である。図 25～図 27 においては、図 27 (c) に示すミラー部 M3、トーションバー T4～T6、内フレーム F8, F9、一組の櫛歯電極 E5, E6、および外フレーム F10, F11 の形成過程を、一の断面の変化として表す。当該一の断面は、加工が施される材料基板（多層構造を有するウエハ）における単一のマイクロミラー素子形成区画に含まれる複数の所定箇所の断面を、モデル化して連続断面として表したものである。図 27 (c) において、ミラー部 M3 は、ミラー部 310 の一部位に相当する。トーションバー T4 は、トーションバー 340 に相当し、その延び方向の断面が表されている。内フレーム F8 は、内フレーム 320 の一部位に相当する。櫛歯電極 E5 は、櫛歯電極 312, 313, 324, 325 の一部に相当する。櫛歯電極 E6 は、櫛歯電極 322, 323, 332, 333 の一部に相当する。トーションバー T5 は、トーションバー 340, 350 に相当し、その横断面が表されている。内フレーム F9 は、内フレーム 320 の他の一部位に相当する。トーションバー T6 は、トーションバー 350 に相当し、その延び方向の断面が表されている。外フレーム F10 は、外フレーム 330 の一部位に相当する。外フレーム F11 は、外フレーム 330 の他の一部位に相当する。

#### 【0117】

第 3 の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法においては、まず、図 25 (a) に示すような材料基板 S3 を用意する。材料基板 S3 は、シリコン層 301, 302, 303 と、シリコン層 301, 302 の間の絶縁層 304 と、シリコン層 302, 303 の間の絶縁層 305 とからなる積層構造を有する。シリコン層 301～303 は、不純物をドーピングすることにより導電性が付与されたシリコン材料よりなる。絶縁層 304, 305 は、例えば酸化物質材料よりなる。シリコン層 301～303 の厚さは、各々、例えば 100  $\mu\text{m}$  である。絶縁層 304, 305 の厚さは、各々、例えば 500 nm である。材料基板 S3 は、材料基板 S1 の作製に関して上述した手法を利用して作製することができる。

#### 【0118】

次に、図 25 (b) に示すように、シリコン層 303 上にミラー面 314 を形成し、シリコン層 301 上に外部接続用の電極パッド 31 (図 21～図 24 において図示せず) を形成する。ミラー面 314 および電極パッド 31 の形成手法は、第 1 の実施形態におけるミラー面 114 および電極パッド 15 の形成手法と同一である。

## 【0119】

次に、図25(c)に示すように、シリコン層301上に酸化膜パターン32を形成し、シリコン層303上には酸化膜パターン33およびレジストパターン34を形成する。酸化膜パターン32は、外フレームF10、F11に対応するパターン形状を有し、酸化膜パターン33は、ミラー部M3、内フレームF8、F9、櫛歯電極E5、および外フレームF10、F11に対応するパターン形状を有する。また、レジストパターン34は、トーションバーT4~T6に対応するパターン形状を有する。

## 【0120】

次に、図25(d)に示すように、酸化膜パターン33およびレジストパターン34をマスクとして、DRIEにより、シリコン層303に対し所定の深さまでエッチング処理を行う。所定の深さとは、トーションバーT4~T6の厚みに相当する深さであり、例えば10 $\mu$ mである。本工程のエッチング処理により、ミラー部M3の一部、内フレームF8、F9の一部、櫛歯電極E5の一部、および外フレームF10、F11の一部が成形される。

## 【0121】

次に、レジストパターン34を除去した後、図26(a)に示すように、トーションバーT4~T6を残存形成しつつ、シリコン層303に対して絶縁層304に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、ミラー部M3、トーションバーT4~T6、内フレームF8、F9の一部、櫛歯電極E5、および外フレームF10、F11の一部が成形される。

## 【0122】

次に、図26(b)に示すように、シリコン層301上にレジストパターン35を形成する。レジストパターン35は、内フレームF8、F9、櫛歯電極E6、および外フレームF10、F11に対応するパターン形状を有する。次に、図26(c)に示すように、レジストパターン35をマスクとして、DRIEによりシリコン層301に対して絶縁層304に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、櫛歯電極E6用の残存マスク部301a、内フレーム用の残存マスク部301b、外フレームF10、F11の一部が成形される。次に、図26(d)に示すように、絶縁層304において前工程にて露出した箇所に対してシリコン層302に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、外フレームF10、F11の一部が成形される。

## 【0123】

次に、図27(a)に示すように、レジストパターン35を除去する。次に、図27(b)に示すように、DRIEにより、シリコン層301に対して酸化膜パターン32をマスクとして絶縁層304に至るまでエッチング処理するとともに、図26(d)を参照して上述した工程にてシリコン層302において露出した箇所に対して絶縁層305に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、残存マスク部301a、301bが除去されるとともに、内フレームF8、F9の一部、櫛歯電極E6、および外フレームF10、F11の一部が成形される。この後、図27(c)に示すように、絶縁層304、305において露出している箇所、および、酸化膜パターン32、33を、エッチング除去する。

## 【0124】

以上の一連の工程を経ることにより、ミラー部M3、トーションバーT4~T6、内フレームF8、F9、櫛歯電極E5、E6、および外フレームF10、F11が形成され、図21~図24に示すマイクロミラー素子X3が製造される。

## 【0125】

本実施形態においては、材料基板S3におけるシリコン層302、303の厚さを適宜設定することにより、ミラー部M3、一組の櫛歯電極E5、E6、および内フレームF8、F9の厚さを調節することができる。また、加えてシリコン層301の厚さを適宜調整することにより、外フレームF10、F11の厚さを調整することができる。本実施形態においては、更に、ミラー部M、内フレームF8、F9、櫛歯電極E5、E6、および外

フレームF10, F11より薄肉のトーションバーT4~T6を形成することができる。このように、第3の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法によると、製造される単一のマイクロミラー素子X3における複数の構造部(ミラー部310、内フレーム320、外フレーム330、トーションバー340, 350)の各々について、高い自由度で且つ高い精度で、所望の厚さ寸法を実現することができるのである。他の部位から独立して厚さを調整できる外フレームF10, F11について十分な厚さを設定することにより、十分な厚さを有する材料基板S3を使用することができ、従って、製造過程において材料基板S3の破損を防止することが可能となる。

#### 【0126】

また、本実施形態においては、第1の実施形態において上述した手法により、シリコン層301由来部位とシリコン層302由来部位とを電氣的に接続するためのプラグP1、および、シリコン層302由来部位とシリコン層303由来部位とを電氣的に接続するためのプラグP2を、ミラー部310、内フレーム320、および外フレーム330の所定の箇所に適宜埋設してもよい。

#### 【0127】

図28~図31は、本発明の第4の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法における一連の工程を表す。この方法は、マイクロマシニング技術により上述のマイクロミラー素子X3を製造するための一手法である。図28~図31においては、図25~図27におけるのと同様に、ミラー部M3、トーションバーT4~T6、内フレームF8, F9、一組の櫛歯電極E5, E6、および外フレームF10, F11の形成過程を、一の断面の変化として表す。

#### 【0128】

第4の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法においては、まず、図28(a)に示すように、図25(b)に示す状態にまで加工した材料基板S3におけるシリコン層303上に、窒化膜パターン36を形成する。例えば、CVD法によりシリコン層303上に窒化ケイ素などの窒化物材料を成膜した後、所定のレジストパターンをマスクとして当該窒化膜をエッチングすることにより、窒化膜パターン36を形成することができる。窒化膜パターン36は、トーションバーT4~T6に対応するパターン形状を有する。

#### 【0129】

次に、図28(b)に示すように、シリコン層301上に酸化膜パターン32を形成し、シリコン層303上には酸化膜パターン33を形成する。上述のように、酸化膜パターン32は、外フレームF10, F11に対応するパターン形状を有し、酸化膜パターン33は、ミラー部M3、内フレームF8, F9、櫛歯電極E5、および外フレームF10, F11に対応するパターン形状を有する。

#### 【0130】

次に、図28(c)に示すように、シリコン層303上にレジストパターン37を形成する。レジストパターン37は、内フレームF8, F9、外フレームF10, F11、および櫛歯電極E5, E6に対応するパターン形状を含む。次に、図28(d)に示すように、レジストパターン37をマスクとして、DRIEにより、シリコン層303に対して絶縁層305に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、櫛歯電極E6用の残存マスク部303a、ミラー部M3の一部、内フレームF8, F9の一部、および櫛歯電極E5が成形される。

#### 【0131】

次に、図29(a)に示すように、絶縁層305において前工程にて露出した箇所に対してシリコン層302に至るまでエッチング処理を行う。この後、図29(b)に示すように、レジストパターン37を除去する。

#### 【0132】

次に、図29(c)に示すように、DRIEにより、窒化膜パターン36および酸化膜パターン33をマスクとしてシリコン層303に対し所定深さまでエッチング処理を行うとともに、図29(a)に示す工程にてシリコン層302において露出した箇所に対し所

定深さまでエッチング処理を行う。所定の深さとは、トーションバーT4～T6の厚みに相当する深さであり、例えば $10\mu\text{m}$ である。本工程のエッチング処理により、残存マスク部303aの一部が除去されるとともに、ミラー部M3の一部、内フレームF8、F9の一部、櫛歯電極E6の一部、および外フレームF10、F11の一部が成形される。この後、図29(d)に示すように、窒化膜パターン36を除去する。

#### 【0133】

次に、図30(a)に示すように、トーションバーT4～T6を残存形成しつつ、シリコン層303に対して絶縁層305に至るまでエッチング処理を行う。これとともに、シリコン層302に対して絶縁層304に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、残存マスク部303aが除去されるとともに、櫛歯電極E5用の残存マスク部302a、ミラー部M3、トーションバーT4～T6、内フレームF8、F9、櫛歯電極E6、および外フレームF10、F11の一部が成形される。

#### 【0134】

次に、図30(b)に示すように、シリコン層301上にレジストパターン38を形成する。レジストパターン38は、内フレームF8、F9および櫛歯電極E6に対応するパターン形状を有する。次に、図30(c)に示すように、レジストパターン38をマスクとして、シリコン層301に対して絶縁層304に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、櫛歯電極E6用の残存マスク部301a、内フレーム用の残存マスク部301b、および外フレームF11の一部が成形される。

#### 【0135】

次に、図30(d)に示すように、絶縁層304において露出する箇所をエッチング除去する。次に、図31(a)に示すように、レジストパターン38を除去する。次に、図31(b)に示すように、酸化膜パターン32をマスクとして、シリコン層301に対して絶縁層304に至るまでエッチング処理を行うとともに、図30(d)を参照して上述した工程にてシリコン層302において露出した箇所に対して絶縁層305に至るまでエッチング処理を行う。本工程のエッチング処理により、残存マスク部301a、301b、302aが除去されるとともに、内フレームF8、F9の一部、櫛歯電極E6、および外フレームF10、F11の一部が成形される。この後、図31(c)に示すように、絶縁層304、305において露出している箇所、および、酸化膜パターン32、33を、エッチング除去する。

#### 【0136】

以上の一連の工程を経ることにより、ミラー部M3、トーションバーT4～T6、内フレームF8、F9、櫛歯電極E5、E6、および外フレームF10、F11が形成され、図21～図24に示すマイクロミラー素子X3が製造される。

#### 【0137】

本実施形態によると、第3の実施形態と同一のマイクロミラー素子X3を製造することができる。したがって、本実施形態に係るマイクロ構造体製造方法によると、製造される単一のマイクロミラー素子X3における複数の構造部の各々について、高い自由度で且つ高い精度で、所望の厚さ寸法を実現することができ、第3の実施形態に関して上述したのと同様の利益を享受することができる。

#### 【0138】

加えて、本実施形態においては、櫛歯電極E5のパターニングは酸化膜パターン33によりシリコン層303上にて行われ、且つ、櫛歯電極E6のパターニングはレジストパターン37によりシリコン層303上にて行われる。このように、本実施形態においては、三つのシリコン層301、302、303を有する材料基板S3に対する加工によるマイクロ構造体製造方法において、一組の櫛歯電極E5、E6の各々について同一面上でパターニングが行われるので、両櫛歯電極E5、E6の位置合わせを高精度に又は容易に行うことができる。

#### 【0139】

また、本実施形態においては、第1の実施形態において上述した手法により、シリコン



層 301 由来部位とシリコン層 302 由来部位とを電氣的に接続するためのプラグ P1、および、シリコン層 302 由来部位とシリコン層 303 由来部位とを電氣的に接続するためのプラグ P2 を、ミラー部 310、内フレーム 320、および外フレーム 330 の所定の箇所に適宜埋設してもよい。

#### 【0140】

以上のまとめとして、本発明の構成およびそのバリエーションを以下に付記として列挙する。

#### 【0141】

(付記 1) 第 1 導体層と、第 2 導体層と、第 3 導体層と、前記第 1 導体層および前記第 2 導体層の間に介在する第 1 絶縁層と、前記第 2 導体層および前記第 3 導体層の間に介在する第 2 絶縁層と、を含む積層構造を有する材料基板に対して加工を施すことによりマイクロ構造体を製造するための方法であって、

前記第 1 導体層に対し、当該第 1 導体層上に形成された第 1 マスクパターンおよび第 2 マスクパターンを介して、当該第 1 導体層の厚さ方向の途中までエッチング処理を施すための、第 1 エッチング工程と、

前記第 2 マスクパターンを除去するための工程と、

前記第 1 導体層に対し、前記第 1 マスクパターンを介して、前記第 1 絶縁層に接する残存マスク部が残存形成されるように前記第 1 絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための、第 2 エッチング工程と、

前記第 1 絶縁層において前記第 2 エッチング工程にて露出した箇所に対し、前記第 2 導体層に至るまで前記残存マスク部を介してエッチング処理を施すための、第 3 エッチング工程と、

前記残存マスク部をエッチング除去し、且つ、前記第 2 導体層において前記第 3 エッチング工程にて露出した箇所に対してエッチング処理を施すための、第 4 エッチング工程と、を含むことを特徴とする、マイクロ構造体の製造方法。

(付記 2) 前記第 4 エッチング工程では、前記第 2 導体層において前記第 3 エッチング工程にて露出した箇所に対し、前記第 2 絶縁層に至るまでエッチング処理を施す、付記 1 に記載のマイクロ構造体の製造方法。

(付記 3) 前記第 3 導体層に対し、当該第 3 導体層上に形成された第 3 マスクパターンを介して、前記第 2 絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための、第 5 エッチング工程を更に含む、付記 1 または 2 に記載のマイクロ構造体の製造方法。

(付記 4) 前記第 1 マスクパターンは櫛歯電極用マスク部を含み、

前記第 2 エッチング工程では、櫛歯電極部の第 1 導体部が前記第 1 導体層において成形され、

前記第 3 エッチング工程では、前記櫛歯電極部の絶縁部が前記第 1 絶縁層において成形され、

前記第 4 エッチング工程では、前記櫛歯電極部の第 2 導体部が前記第 2 導体層において成形される、付記 2 または 3 に記載のマイクロ構造体の製造方法。

(付記 5) 前記第 3 マスクパターンは櫛歯電極用第 1 マスク部を含み、

前記第 2 マスクパターンは櫛歯電極用第 2 マスク部を含み、

前記第 5 エッチング工程では、櫛歯電極部の第 1 導体部が前記第 3 導体層において成形され、

前記第 2 エッチング工程では、櫛歯電極用残存マスク部が前記第 1 導体層において成形され、

前記第 4 エッチング工程では、前記櫛歯電極部の第 2 導体部が前記第 2 導体層において成形され、且つ、前記櫛歯電極用残存マスク部はエッチング除去され、

前記第 1 導体部および前記第 2 導体部の間に介在する、前記櫛歯電極部の絶縁部を、前記第 2 絶縁層において成形するための、第 6 エッチング工程を更に含む、付記 3 に記載のマイクロ構造体の製造方法。

(付記 6) 前記第 3 マスクパターンは第 1 櫛歯電極用第 1 マスク部を含み、

前記第 2 マスクパターンは第 1 櫛歯電極用第 2 マスク部を含み、  
前記第 1 マスクパターンは第 2 櫛歯電極用マスク部を含み、  
前記第 5 エッチング工程では、第 1 櫛歯電極部の第 1 導体部が前記第 3 導体層において成形され、  
前記第 2 エッチング工程では、第 1 櫛歯電極用残存マスク部および第 2 櫛歯電極部の第 1 導体部が前記第 1 導体層において成形され、  
前記第 3 エッチング工程では、前記第 2 櫛歯電極部の絶縁部が前記第 1 絶縁層において成形され、  
前記第 4 エッチング工程では、前記第 1 櫛歯電極部の第 2 導体部および前記第 2 櫛歯電極部の第 2 導体部が前記第 2 導体層において成形され、且つ、前記第 1 櫛歯電極用残存マスク部はエッチング除去され、  
前記第 1 櫛歯電極部の前記第 1 および第 2 導体部の間に介在する、前記第 1 櫛歯電極部の絶縁部を、前記第 2 絶縁層において成形するための、第 6 エッチング工程を更に含む、付記 3 に記載のマイクロ構造体の製造方法。  
(付記 7) 第 1 導体層と、第 2 導体層と、第 3 導体層と、前記第 1 導体層および前記第 2 導体層の間に介在する第 1 絶縁層と、前記第 2 導体層および前記第 3 導体層の間に介在する第 2 絶縁層と、を含む積層構造を有する材料基板に対して加工を施すことによりマイクロ構造体を製造するための方法であって、  
前記第 1 導体層に対し、当該第 1 導体層上に形成された第 1 マスクパターンおよび第 2 マスクパターンを介して、前記第 1 絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための、第 1 エッチング工程と、  
前記第 1 絶縁層において前記第 1 エッチング工程にて露出した箇所に対し、前記第 2 導体層に至るまでエッチング処理を施すための、第 2 エッチング工程と、  
前記第 2 マスクパターンを除去するための工程と、  
前記第 1 導体層に対して前記第 1 マスクパターンを介してエッチング処理を施し、且つ、前記第 2 導体層において前記第 2 エッチング工程にて露出した箇所に対してエッチング処理を施すための、第 3 エッチング工程と、を含むことを特徴とする、マイクロ構造体の製造方法。  
(付記 8) 前記第 3 エッチング工程では、前記第 1 導体層に対して前記第 1 絶縁層に至るまでエッチング処理を施し、且つ、前記第 2 導体層において前記第 2 エッチング工程にて露出した箇所に対して前記第 2 絶縁層に至るまでエッチング処理を施す、付記 7 に記載のマイクロ構造体の製造方法。  
(付記 9) 前記第 3 導体層に対し、当該第 3 導体層上に形成された第 3 マスクパターンを介して、前記第 2 絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための、第 4 エッチング工程を更に含む、付記 7 または 8 に記載のマイクロ構造体の製造方法。  
(付記 10) 前記第 1 マスクパターンは櫛歯電極用マスク部を含み、  
前記第 1 エッチング工程では、櫛歯電極部の第 1 導体部が前記第 1 導体層において成形され、  
前記第 2 エッチング工程では、前記櫛歯電極部の絶縁部が前記第 1 絶縁層において成形され、  
前記第 3 エッチング工程では、前記櫛歯電極部の第 2 導体部が前記第 2 導体層において成形される、付記 8 または 9 に記載のマイクロ構造体の製造方法。  
(付記 11) 前記第 3 マスクパターンは櫛歯電極用第 1 マスク部を含み、  
前記第 2 マスクパターンは櫛歯電極用第 2 マスク部を含み、  
前記第 4 エッチング工程では、櫛歯電極部の第 1 導体部が前記第 3 導体層において成形され、  
前記第 1 エッチング工程では、櫛歯電極用残存マスク部が前記第 1 導体層において成形され、  
前記第 3 エッチング工程では、前記櫛歯電極部の第 2 導体部が前記第 2 導体層において成形され、且つ、前記櫛歯電極用残存マスク部はエッチング除去され、

前記第1導体部および前記第2導体部の間に介在する、前記櫛歯電極部の絶縁部を、前記第2絶縁層において成形するための、第5エッチング工程を更に含む、付記9に記載のマイクロ構造体の製造方法。

(付記12) 前記第3マスクパターンは第1櫛歯電極用第1マスク部を含み、

前記第2マスクパターンは第1櫛歯電極用第2マスク部を含み、

前記第1マスクパターンは第2櫛歯電極用マスク部を含み、

前記第4エッチング工程では、第1櫛歯電極部の第1導体部が前記第3導体層において成形され、

前記第1エッチング工程では、第1櫛歯電極用残存マスク部および第2櫛歯電極部の第1導体部が前記第1導体層において成形され、

前記第2エッチング工程では、前記第2櫛歯電極部の絶縁部が前記第1絶縁層において成形され、

前記第3エッチング工程では、前記第1櫛歯電極部の第2導体部および前記第2櫛歯電極部の第2導体部が前記第2導体層において成形され、且つ、前記第1櫛歯電極用残存マスク部はエッチング除去され、

前記第1櫛歯電極部における前記第1および第2導体部の間に介在する、前記第1櫛歯電極部の絶縁部を、第2絶縁層において成形するための、第5エッチング工程を更に含む、付記9に記載のマイクロ構造体の製造方法。

(付記13) 前記第2絶縁層において前記第4エッチング工程にて露出した箇所に対して前記第2導体層に至るまでエッチング処理を施すための第5エッチング工程と、前記第2導体層において前記第5エッチング工程にて露出した箇所に対して前記第1絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための第6エッチング工程と、を更に含む、付記9に記載のマイクロ構造体の製造方法。

(付記14) 前記第3マスクパターンは櫛歯電極用マスク部を含み、

前記第4エッチング工程では、櫛歯電極部の第1導体部が前記第3導体層において成形され、

前記第5エッチング工程では、前記櫛歯電極部の絶縁部が前記第2絶縁層において成形され、

前記第6エッチング工程では、前記櫛歯電極部の第2導体部が前記第2導体層において成形される、付記13に記載のマイクロ構造体の製造方法。

(付記15) 前記第3マスクパターンは櫛歯電極用第1マスク部を含み、

前記第1マスクパターンは櫛歯電極用第2マスク部を含み、

前記第4エッチング工程では、櫛歯電極部の第1導体部が前記第3導体層において成形され、

前記第5エッチング工程では、前記櫛歯電極部の第1絶縁部が前記第2絶縁層において成形され、

前記第6エッチング工程では、前記櫛歯電極部の第2導体部が前記第2導体層において成形され、

前記第3エッチング工程では、前記櫛歯電極部の第3導体部が前記第1導体層において成形され、

前記第2導体部および前記第3導体部の間に介在する、前記櫛歯電極部の第2絶縁部を、前記第1絶縁層において成形するための、第7エッチング工程を更に含む、付記13に記載のマイクロ構造体の製造方法。

(付記16) 前記第3マスクパターンは第1櫛歯電極用マスク部および第2櫛歯電極用第1マスク部を含み、

前記第1マスクパターンは第2櫛歯電極用第2マスク部を含み、

前記第4エッチング工程では、第1櫛歯電極部の第1導体部および第2櫛歯電極部の第1導体部が前記第3導体層において成形され、

前記第5エッチング工程では、前記第1櫛歯電極部の第1絶縁部および前記第2櫛歯電極部の第1絶縁部が前記第2絶縁層において成形され、

前記第 6 エッチング工程では、前記第 1 櫛歯電極部の第 2 導体部および前記第 2 櫛歯電極部の第 2 導体部が前記第 2 導体層において成形され、

前記第 3 エッチング工程では、前記第 2 櫛歯電極部の第 3 導体部が前記第 1 導体層において成形され、

前記第 2 櫛歯電極部における前記第 2 および第 3 導体部の間に介在する、前記第 2 櫛歯電極部の第 2 絶縁部を、前記第 1 絶縁層において成形するための、第 7 エッチング工程を更に含む、付記 1 3 に記載のマイクロ構造体の製造方法。

(付記 1 7) 前記第 3 導体層に対し、当該第 3 導体層上に形成された第 3 マスクパターンおよび第 4 マスクパターンを介して、前記第 2 絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための、第 4 エッチング工程と、

前記第 2 絶縁層において前記第 4 エッチング工程にて露出した箇所に対してエッチング処理を施すための第 5 エッチング工程と、

前記第 4 マスクパターンを除去するための工程と、

前記第 3 導体層に対して前記第 3 マスクパターンを介して前記第 2 絶縁層に至るまでエッチング処理を施し、且つ、前記第 2 導体層において前記第 5 エッチング工程にて露出した箇所に対して前記第 1 絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための、第 6 エッチング工程と、を更に含む、付記 7 に記載のマイクロ構造体の製造方法。

(付記 1 8) 前記第 3 マスクパターンは第 1 櫛歯電極用マスク部および第 2 櫛歯電極用第 1 マスク部を含み、

前記第 2 マスクパターンは第 2 櫛歯電極用第 2 マスク部を含み、

前記第 4 エッチング工程では、第 1 櫛歯電極部および第 2 櫛歯電極用第 1 残存マスク部が前記第 3 導体層において成形され、

前記第 6 エッチング工程では、第 1 櫛歯電極用残存マスク部および第 2 櫛歯電極部が前記第 2 導体層において成形され、且つ、前記第 2 櫛歯電極用第 1 残存マスク部がエッチング除去され、

前記第 1 エッチング工程では、第 2 櫛歯電極用第 2 残存マスク部が前記第 1 導体層において成形され、

前記第 3 エッチング工程では、前記第 1 櫛歯電極用残存マスク部および前記第 2 櫛歯電極部第 2 残存マスク部はエッチング除去される、付記 1 7 に記載のマイクロ構造体の製造方法。(1 2)

(付記 1 9) 前記第 1 絶縁層を貫通して前記第 1 導体層および前記第 2 導体層を電氣的に接続するための第 1 導電連絡部を形成するための工程、並びに／または、前記第 2 絶縁層を貫通して前記第 3 導体層および前記第 2 導体層を電氣的に接続するための第 2 導電連絡部を形成するための工程を、更に含む、付記 1 から 1 8 のいずれか 1 つに記載のマイクロ構造体の製造方法。

(付記 2 0) 前記第 1 絶縁層を貫通し、前記櫛歯電極部の各々において各導体部を電氣的に接続するための第 1 導電連絡部を形成するための工程、および／または、前記第 2 絶縁層を貫通し、前記櫛歯電極部の各々において各導体部を電氣的に接続するための第 2 導電連絡部を形成するための工程を、更に含む、付記 4 から 6、1 0 から 1 2、1 4 から 1 6、および 1 8 のいずれか 1 つに記載のマイクロ構造体の製造方法。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【0 1 4 2】

【図 1】本発明の第 1 の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法により得られるマイクロミラー素子の斜視図である。

【図 2】図 1 に示すマイクロミラー素子の平面図である。

【図 3】図 2 の線 III-III に沿った断面図である。

【図 4】図 2 の線 IV-IV に沿った断面図である。

【図 5】図 2 の線 V-V に沿った断面図である。

【図 6】本発明の第 1 の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法における一部の工程を表す。

- 【図 7】図 6 の後に続く工程を表す。  
【図 8】図 7 の後に続く工程を表す。  
【図 9】図 8 の後に続く工程を表す。  
【図 10】図 9 の後に続く工程を表す。  
【図 11】本発明の第 1 の実施形態における一部の工程の代替工程を表す。  
【図 12】本発明の第 2 の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法により得られるマイクロミラー素子の平面図である。  
【図 13】図 12 の線 XIII-XIII に沿った断面図である。  
【図 14】図 12 の線 XIV-XIV に沿った断面図である。  
【図 15】図 12 の線 XV-XV に沿った断面図である。  
【図 16】本発明の第 2 の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法における一部の工程を表す。  
【図 17】図 16 の後に続く工程を表す。  
【図 18】図 17 の後に続く工程を表す。  
【図 19】図 18 の後に続く工程を表す。  
【図 20】図 19 の後に続く工程を表す。  
【図 21】本発明の第 3 および第 4 の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法により得られるマイクロミラー素子の平面図である。  
【図 22】図 21 の線 XXII-XXII に沿った断面図である。  
【図 23】図 21 の線 XXIII-XXIII に沿った断面図である。  
【図 24】図 21 の線 XXIV-XXIV に沿った断面図である。  
【図 25】本発明の第 3 の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法における一部の工程を表す。  
【図 26】図 25 の後に続く工程を表す。  
【図 27】図 26 の後に続く工程を表す。  
【図 28】本発明の第 4 の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法における一部の工程を表す。  
【図 29】図 28 の後に続く工程を表す。  
【図 30】図 29 の後に続く工程を表す。  
【図 31】図 30 の後に続く工程を表す。  
【図 32】従来のマイクロミラー素子の一部切欠き斜視図である。  
【図 33】一組の櫛歯電極の一部の配向を表す。  
【図 34】図 32 に示すマイクロミラー素子の製造方法における一部の工程を表す。

## 【符号の説明】

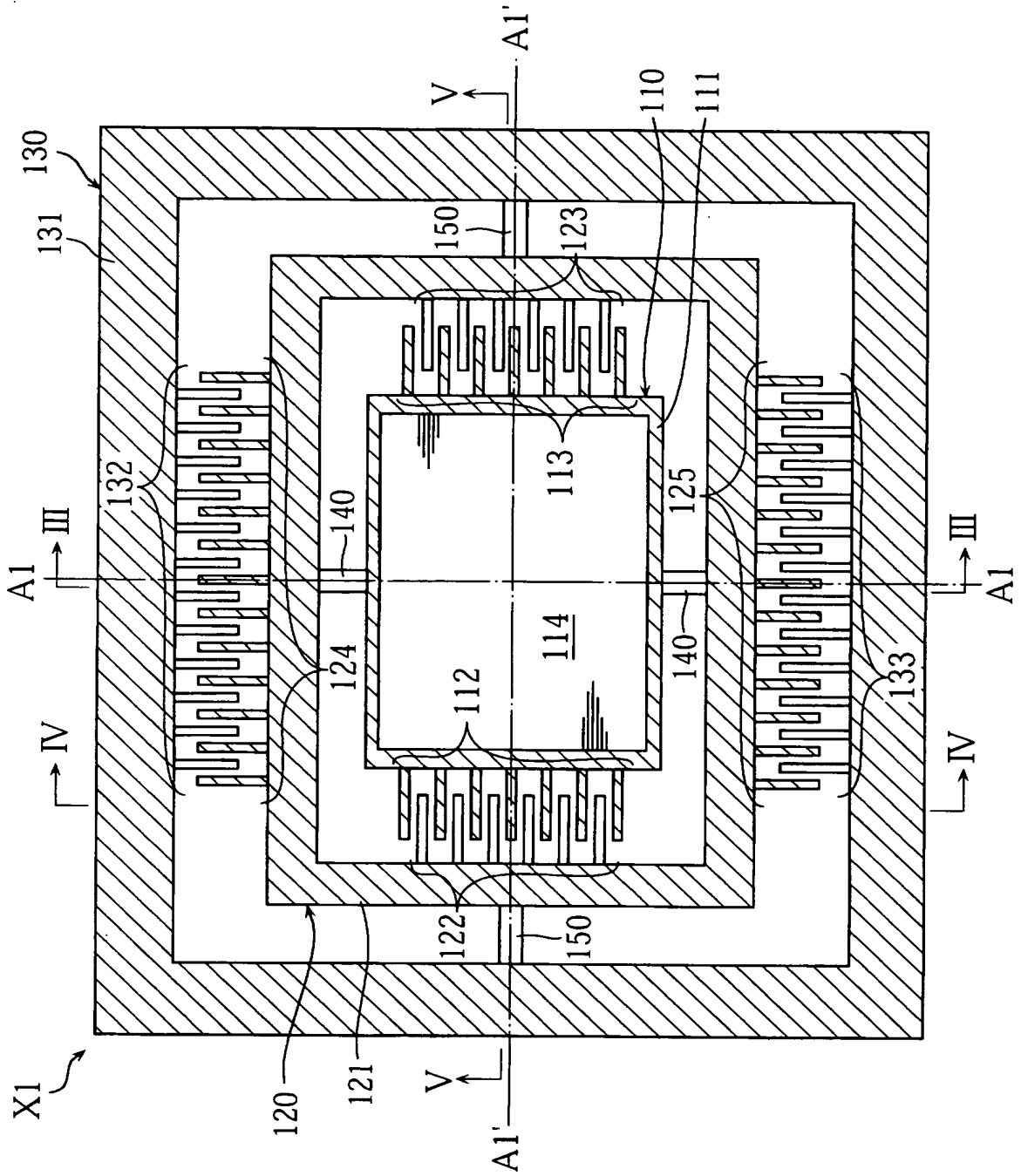
## 【0143】

X 1, X 2, X 3, X 5	マイクロミラー素子
1 1 0, 2 1 0, 3 1 0, M 1, M 2, M 3	ミラー部
1 2 0, 2 2 0, 3 2 0, F 1, F 2, F 5, F 6, F 8, F 9	内フレーム
1 3 0, 2 3 0, 3 3 0, F 3, F 4, F 7, F 10, F 11	外フレーム
1 4 0, 1 5 0, 2 4 0, 2 5 0, 3 4 0, 3 5 0, T 1 ~ T 6	トーションバー



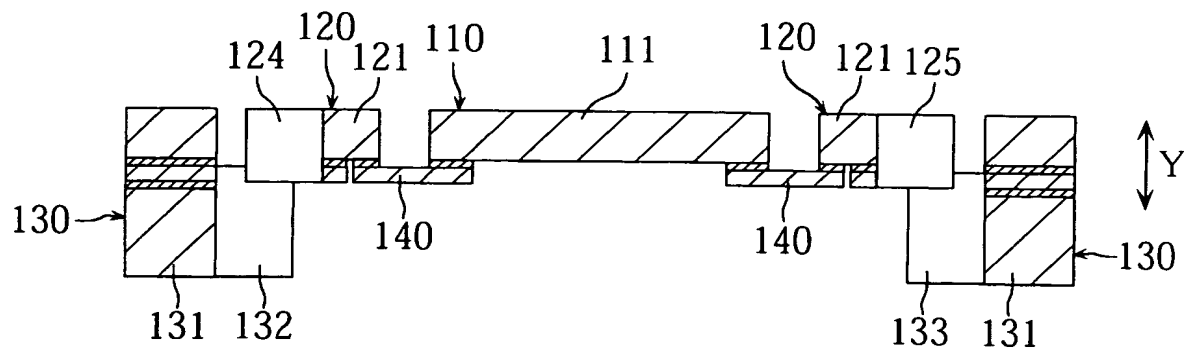
【図 2】

図1に示すマイクロミラー素子の平面図



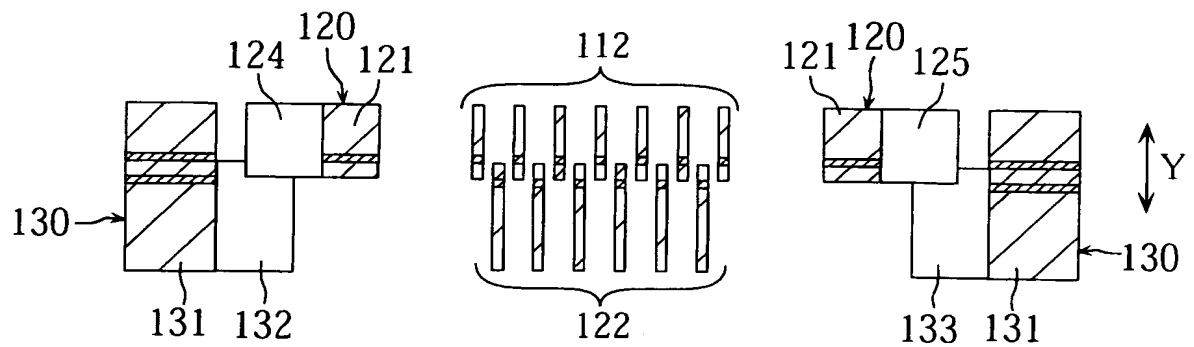
【図 3】

図2の線III-IIIに沿った断面図



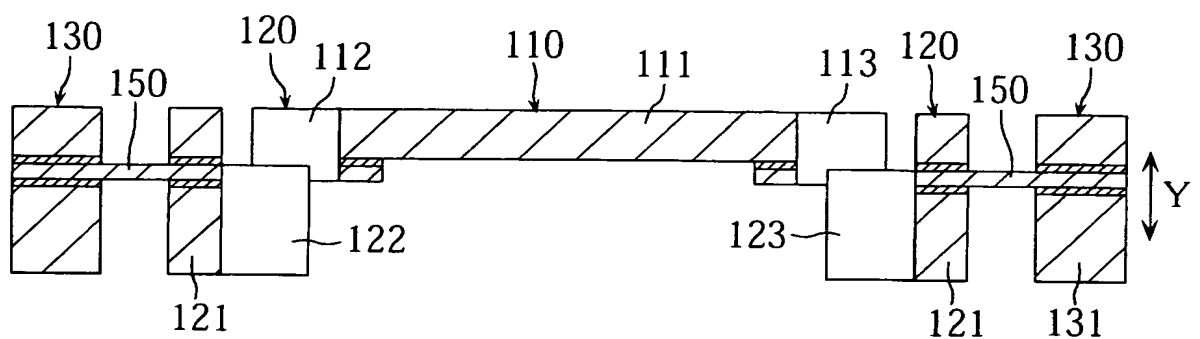
【図 4】

図2の線IV-IVに沿った断面図



【図 5】

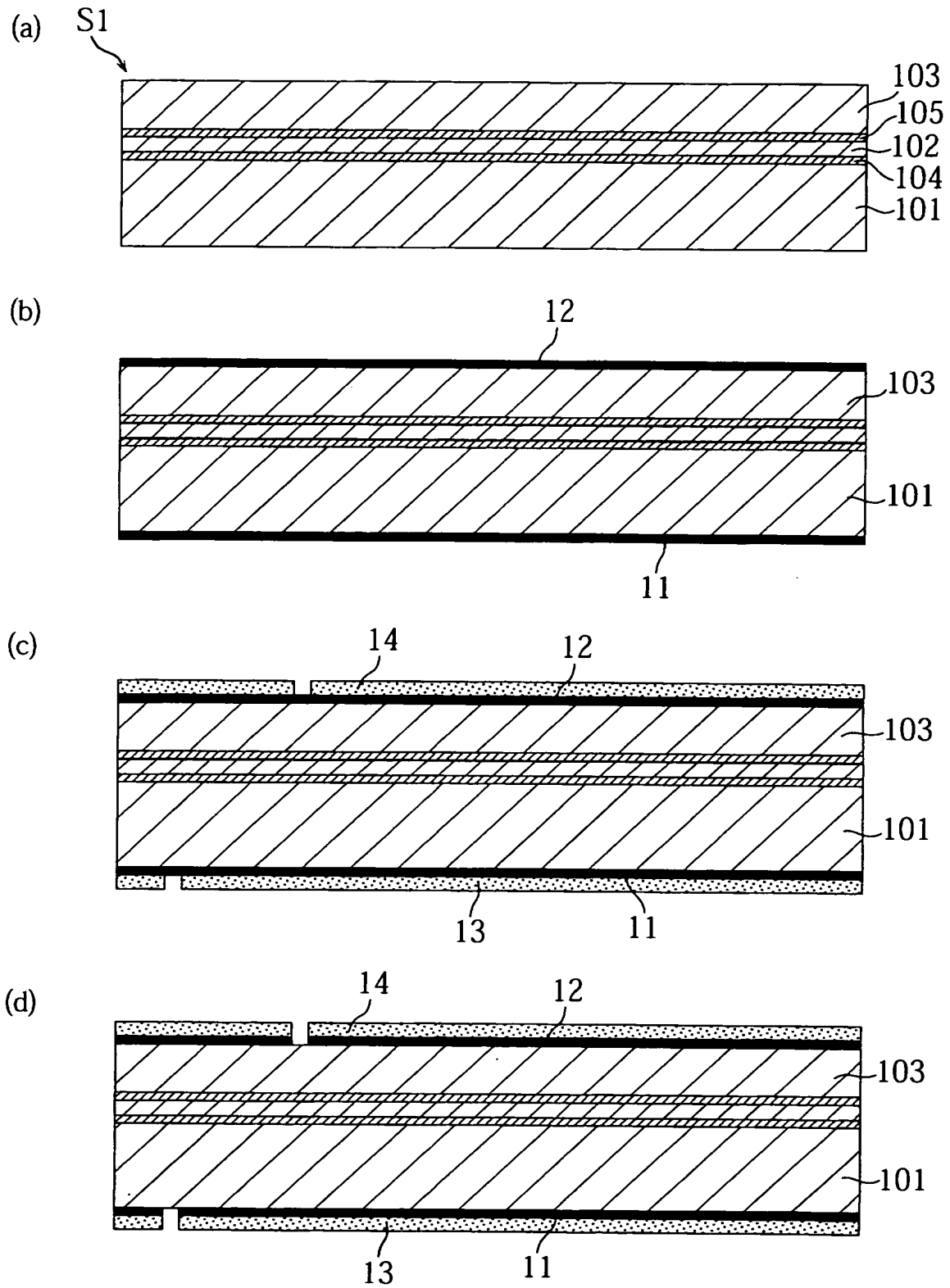
図2の線V-Vに沿った断面図





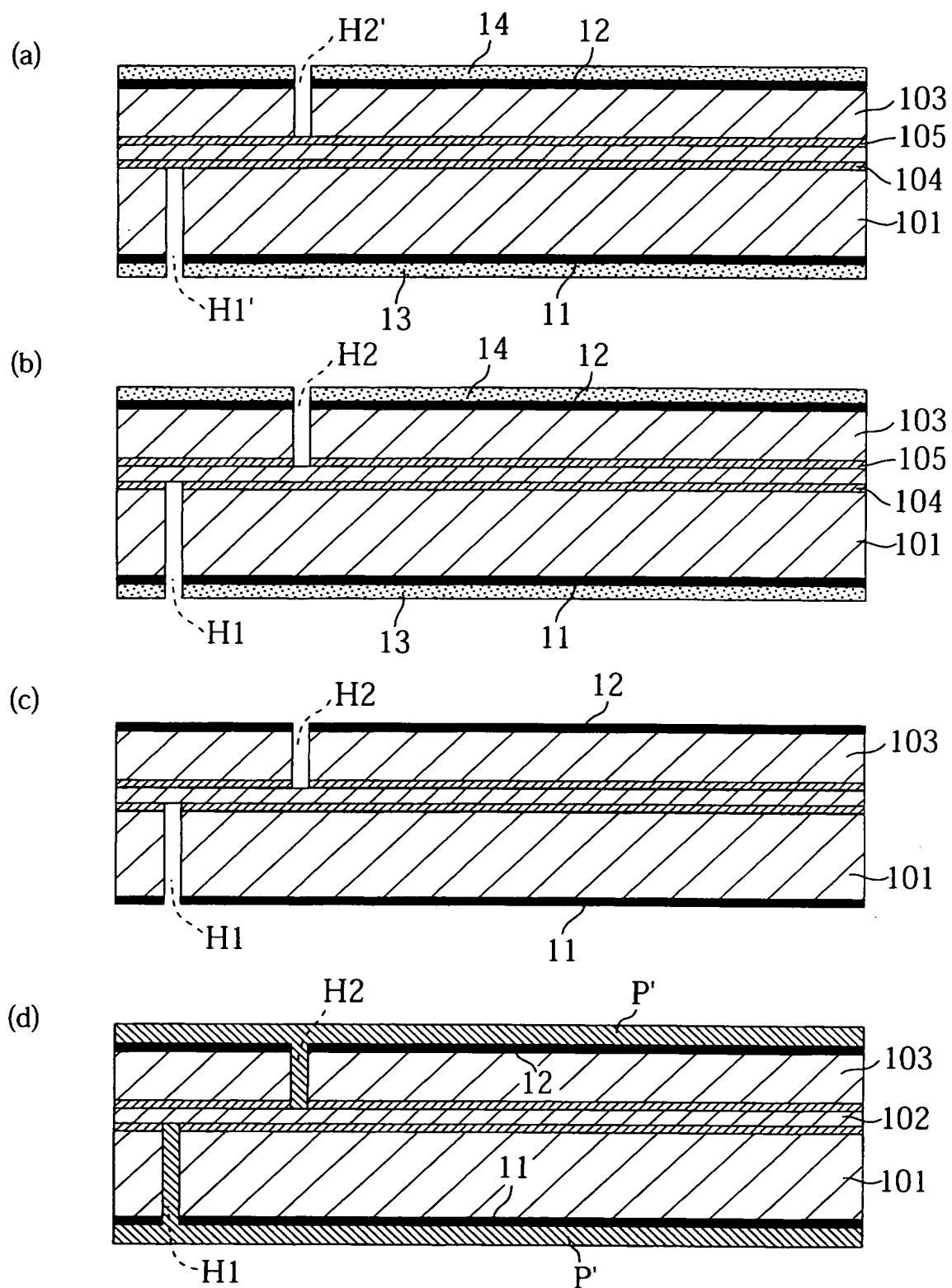
【図6】

## 第1の実施形態のマイクロ構造体製造方法



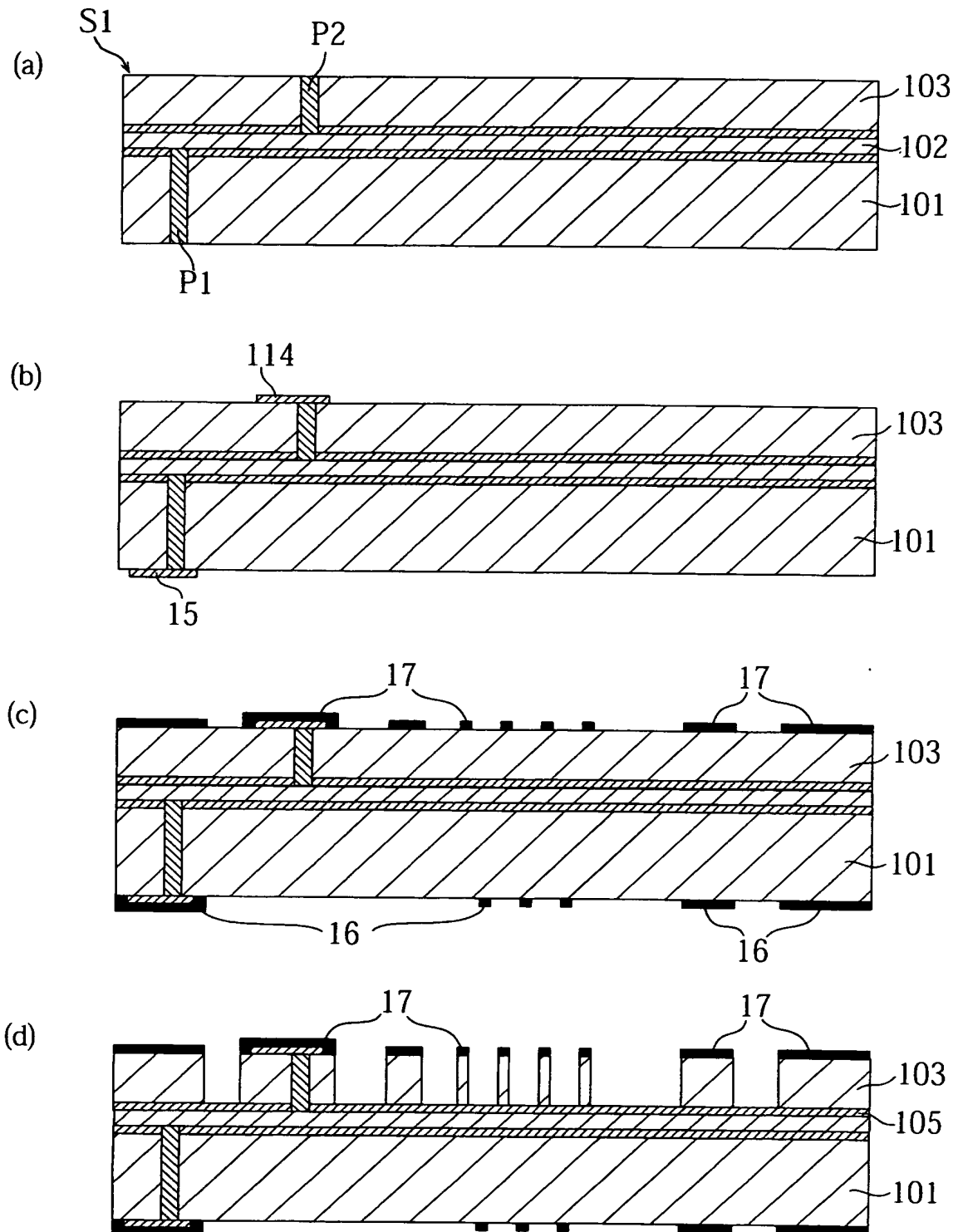
【図 7】

図6の後に続く工程



【図 8】

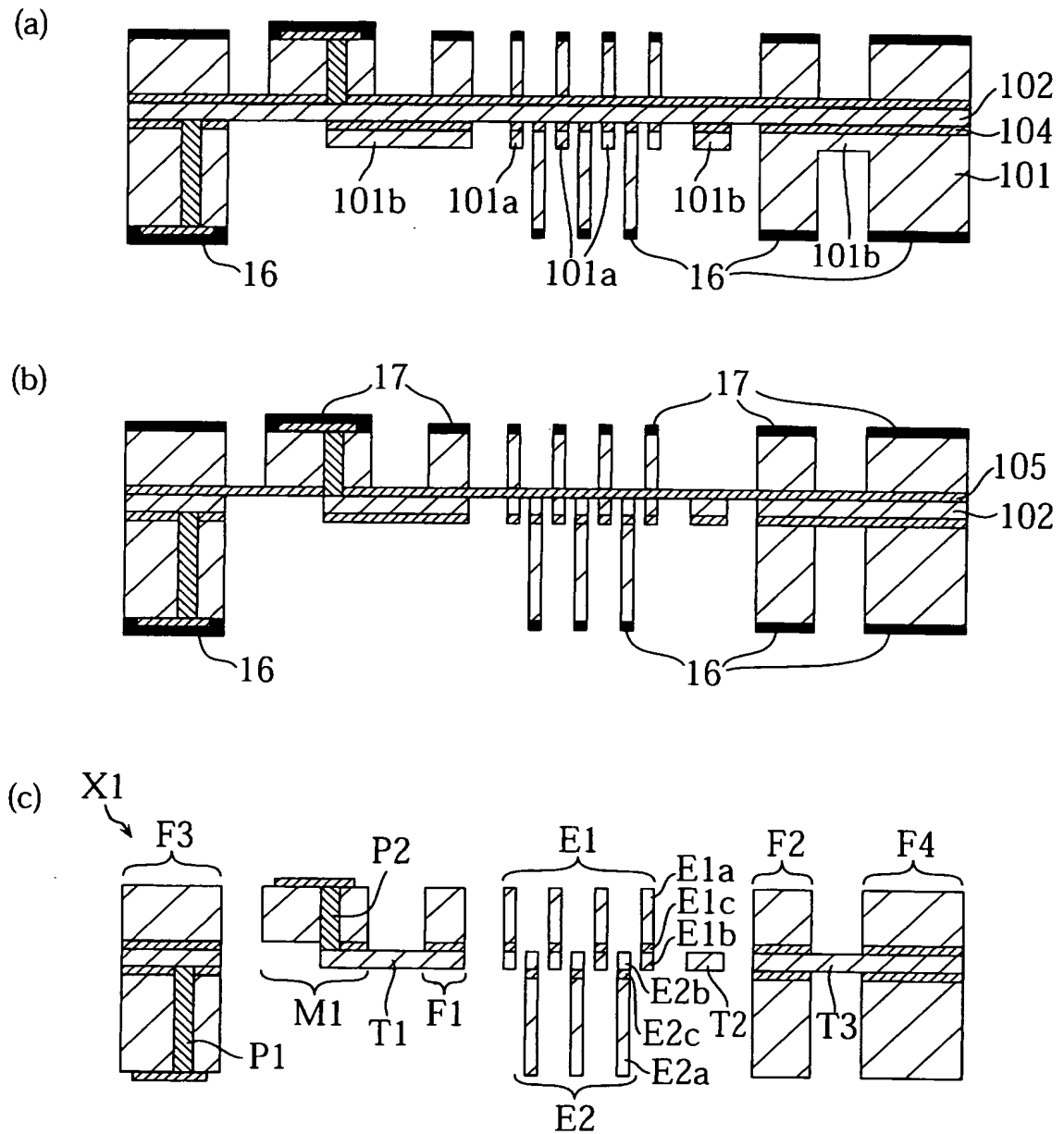
図7の後に続く工程





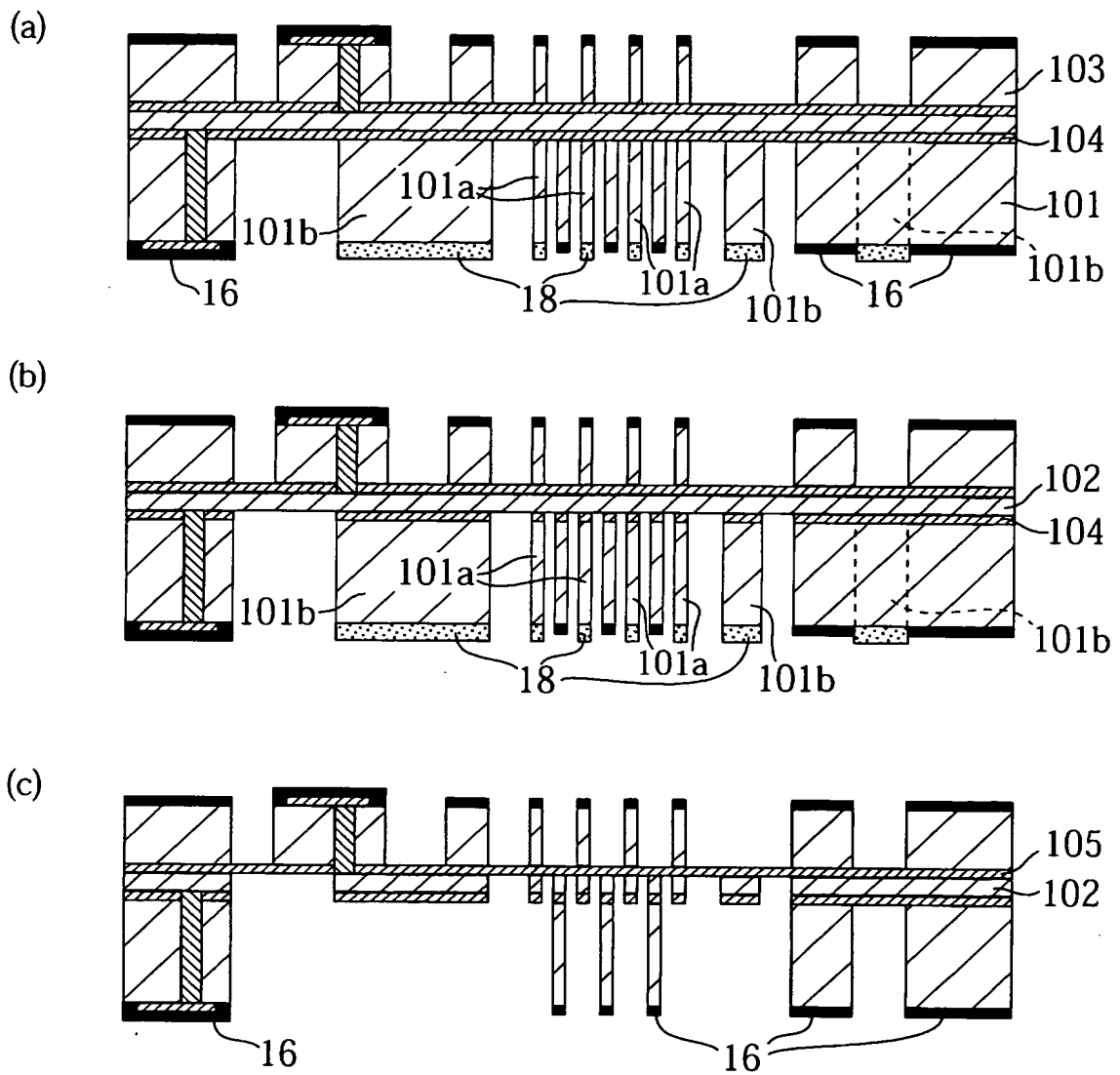
【図 10】

図9の後に続く工程

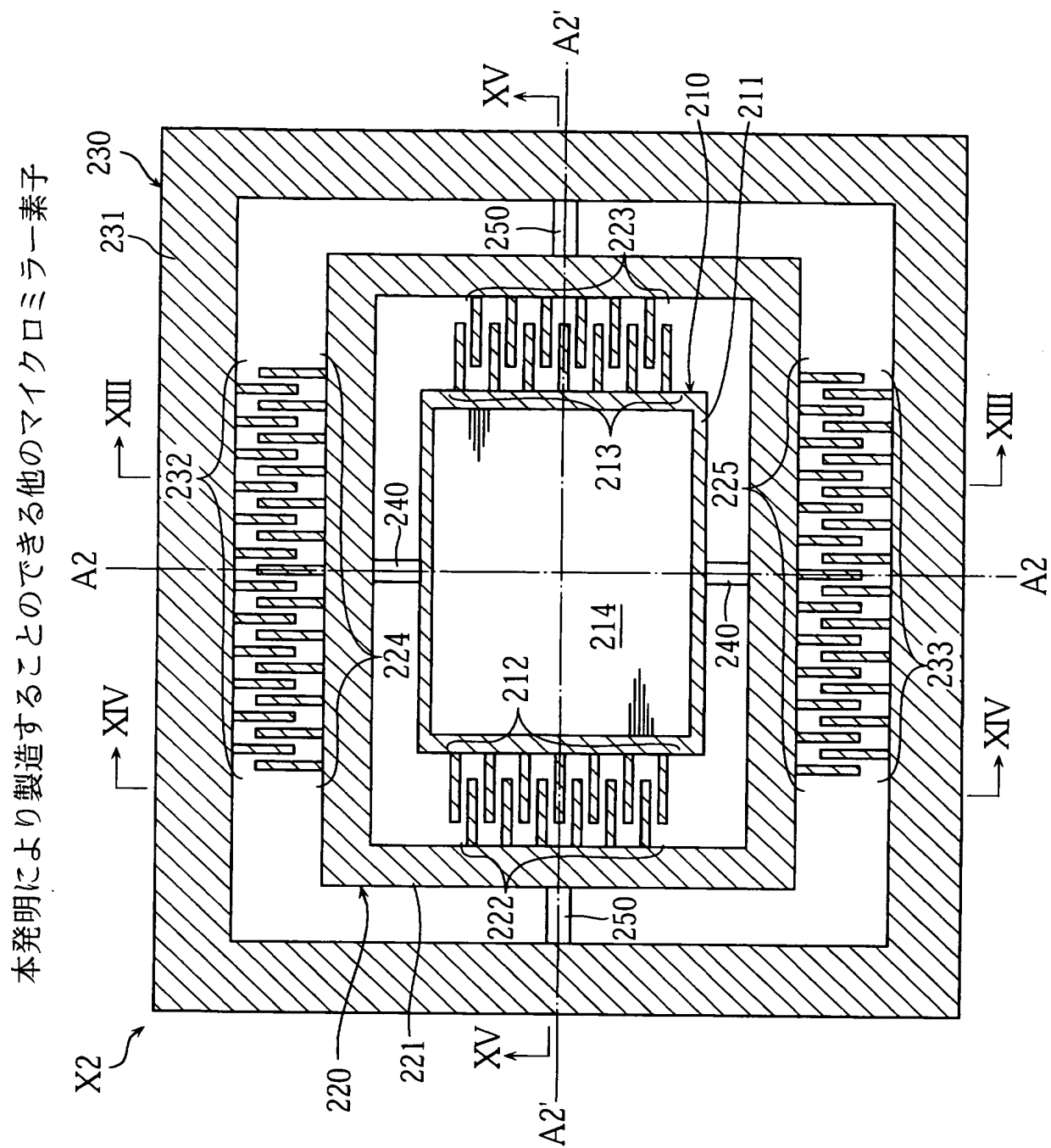


【図 11】

## 第1の実施形態における一部の工程の代替工程

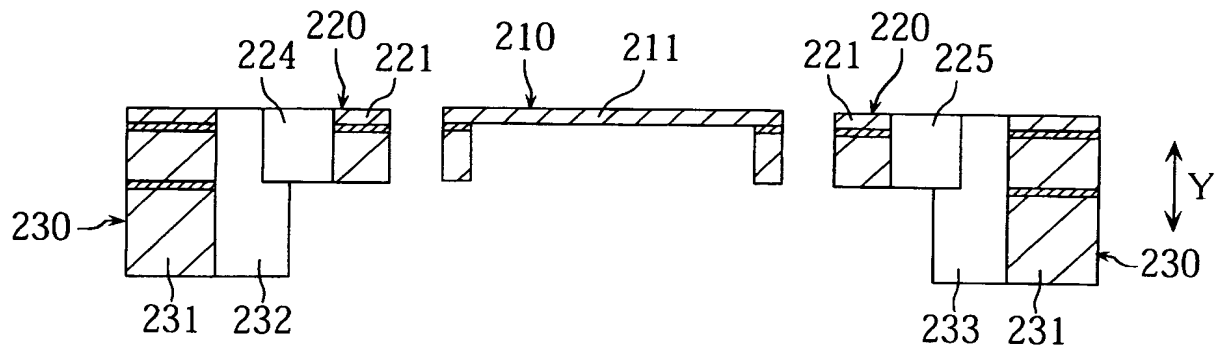


【图 12】



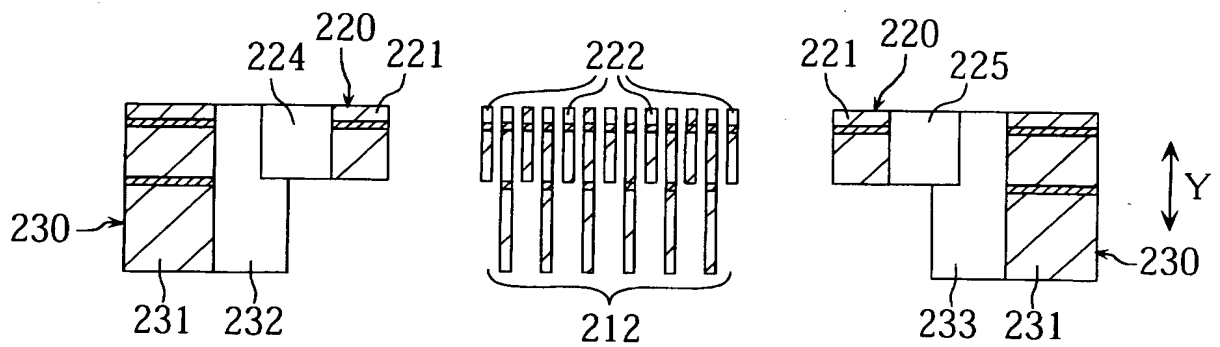
【図13】

図12の線XIII-XIIIに沿った断面図



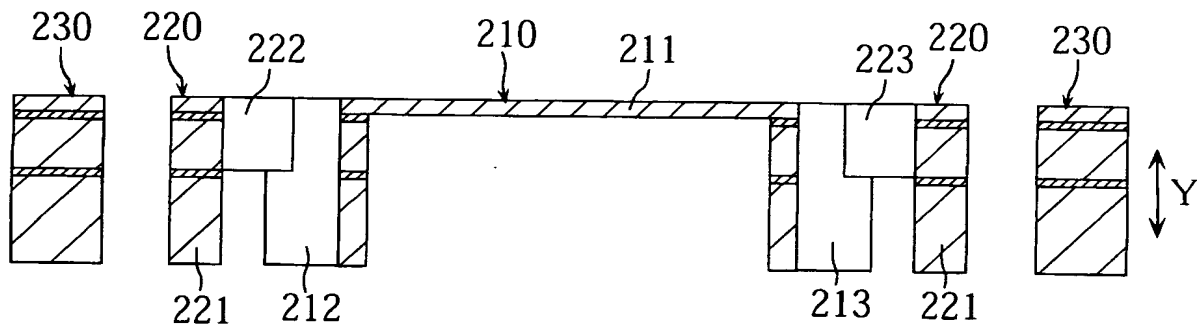
【図14】

図12の線XIV-XIVに沿った断面図



【図15】

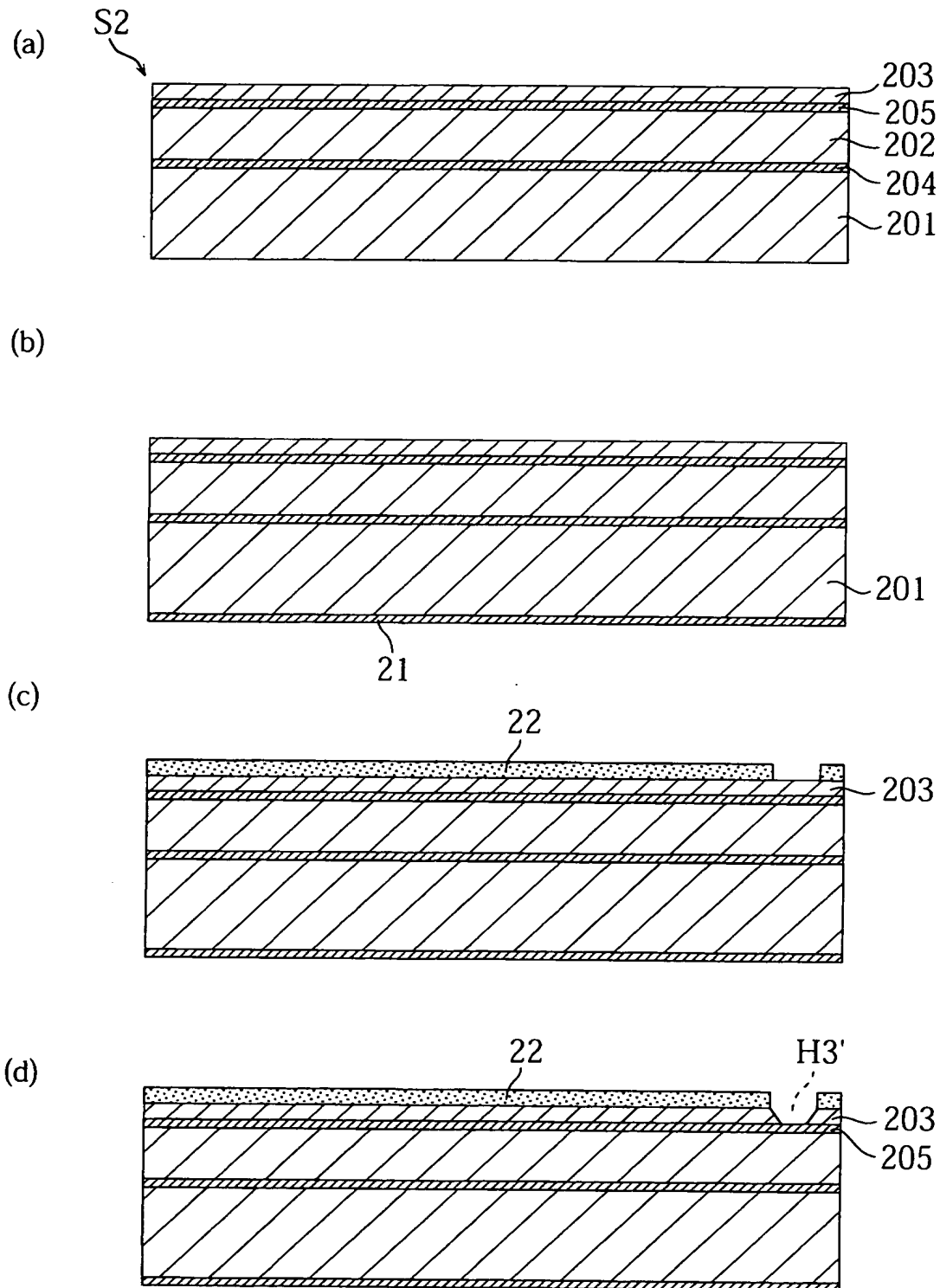
図12の線XV-XVに沿った断面図





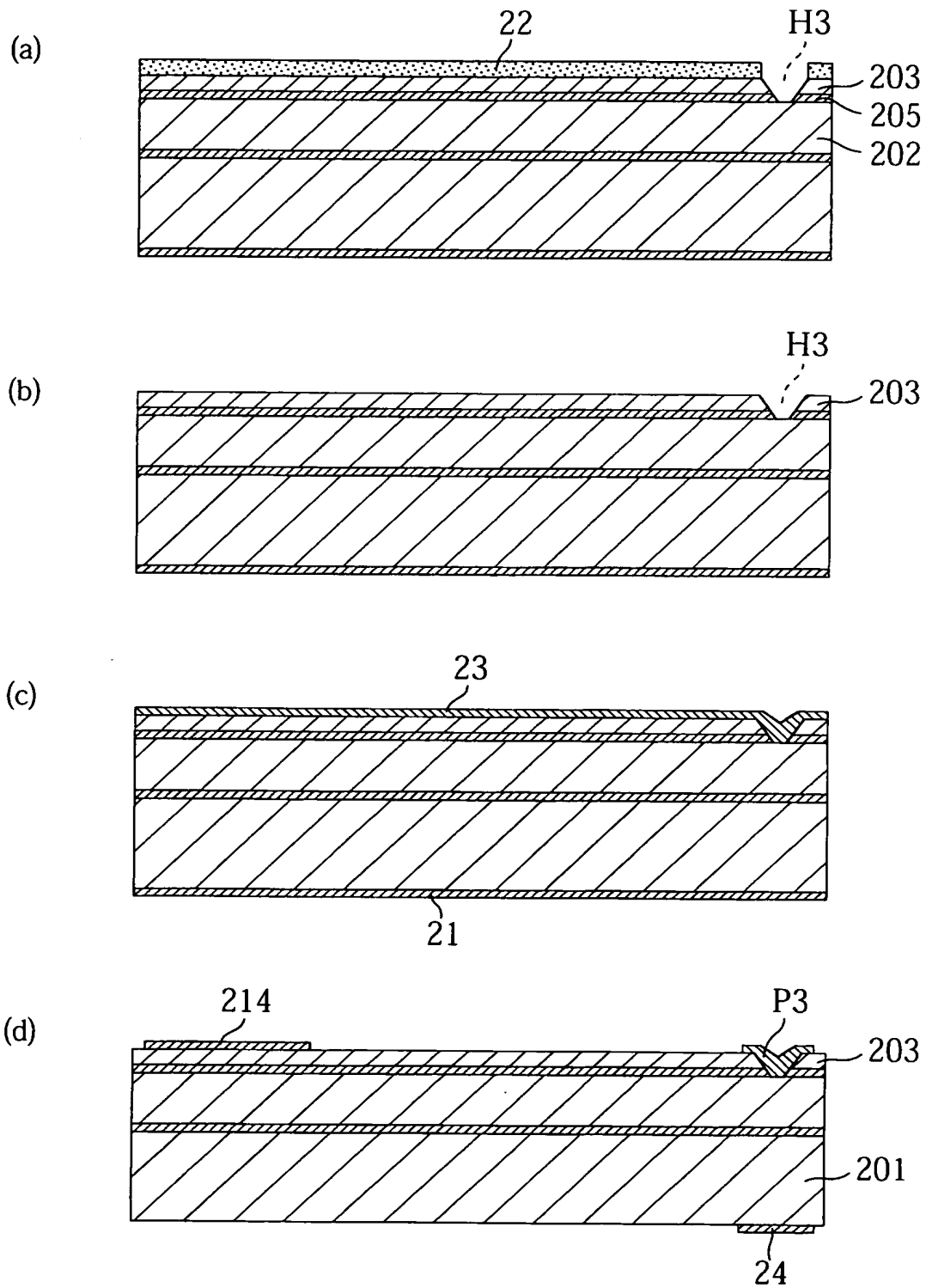
【図 16】

## 第2の実施形態のマイクロ構造体製造方法



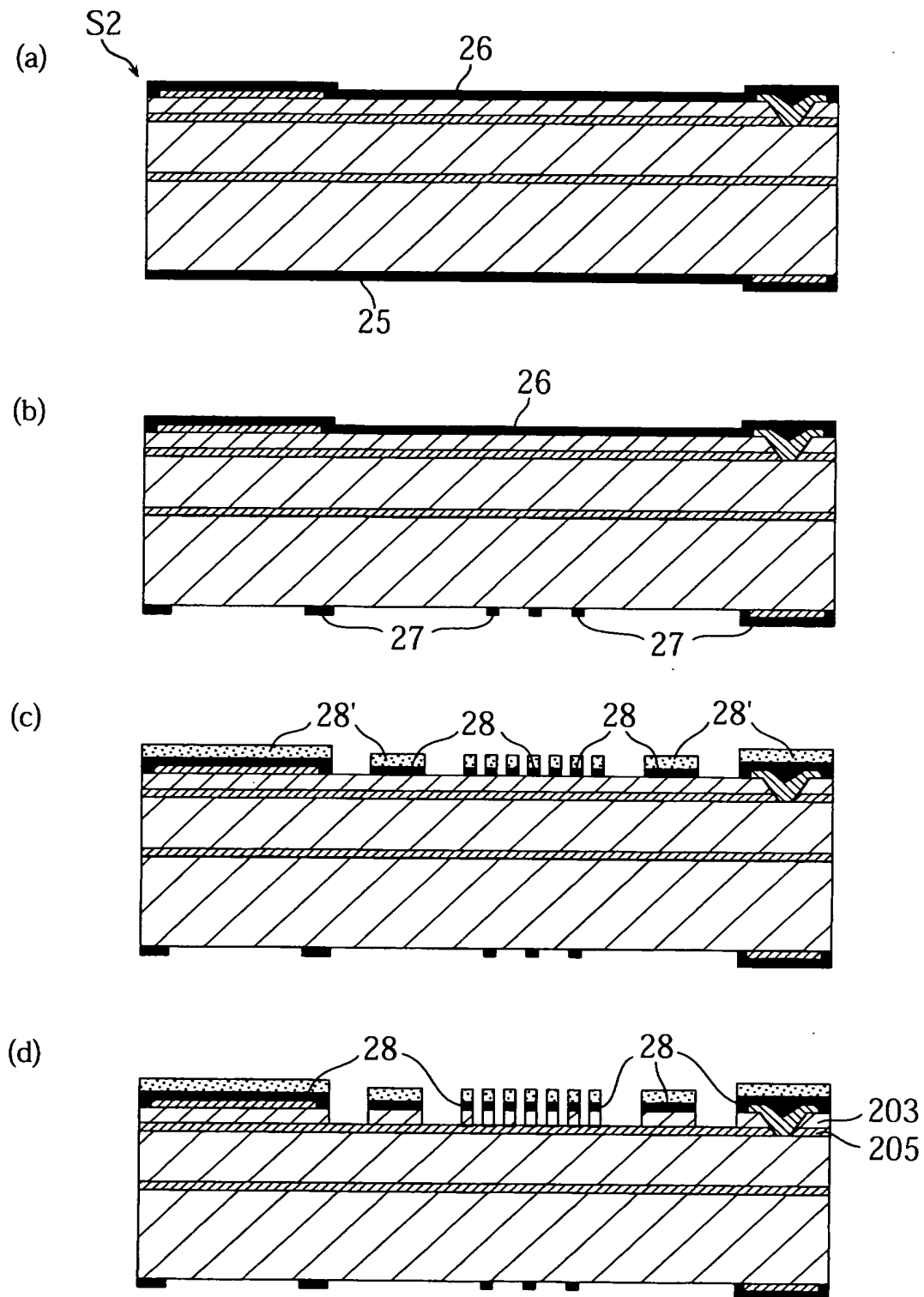
【図 17】

図16の後続く工程



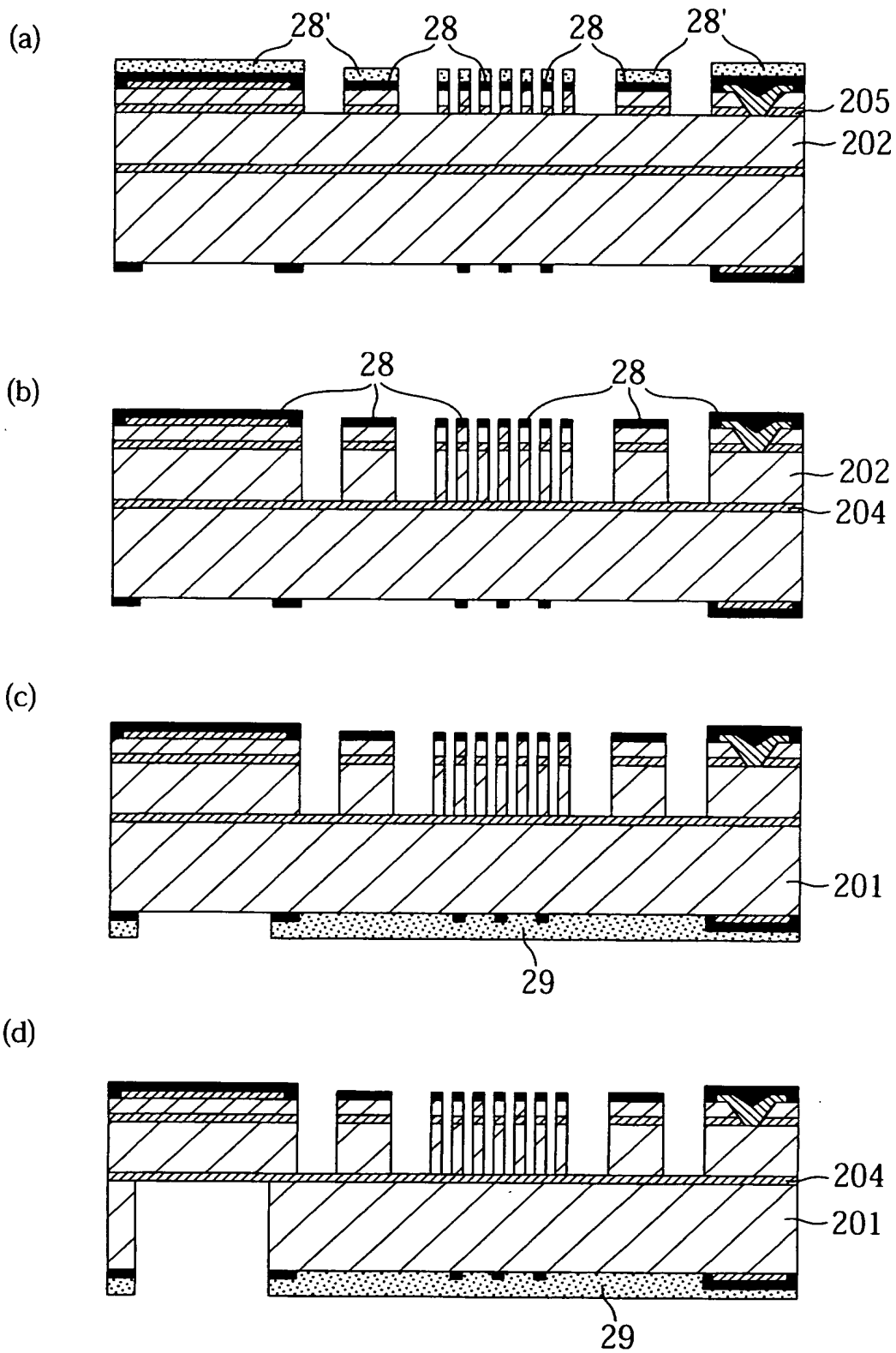
【図18】

図17の後続く工程



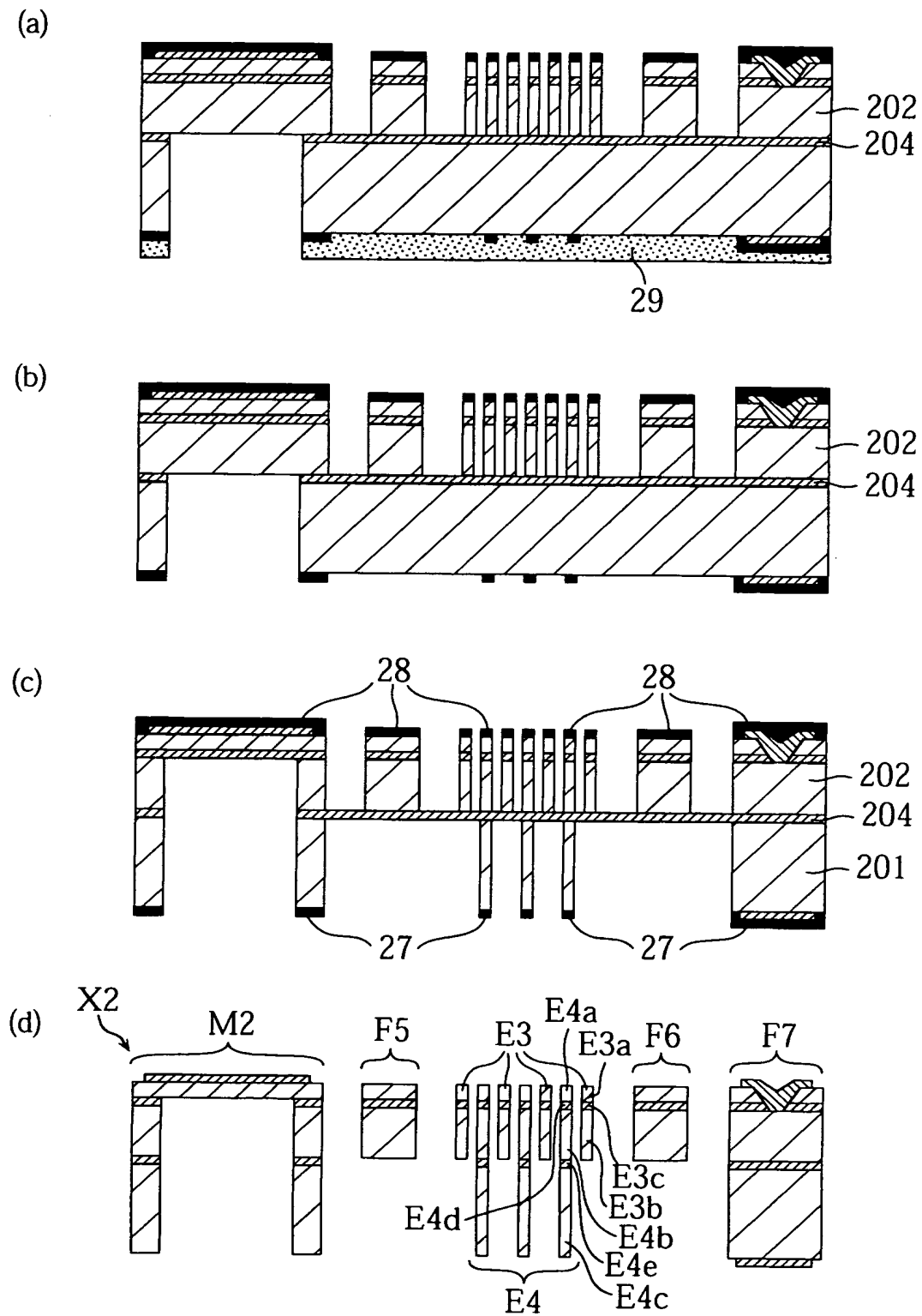
【図 19】

図18の後に続く工程

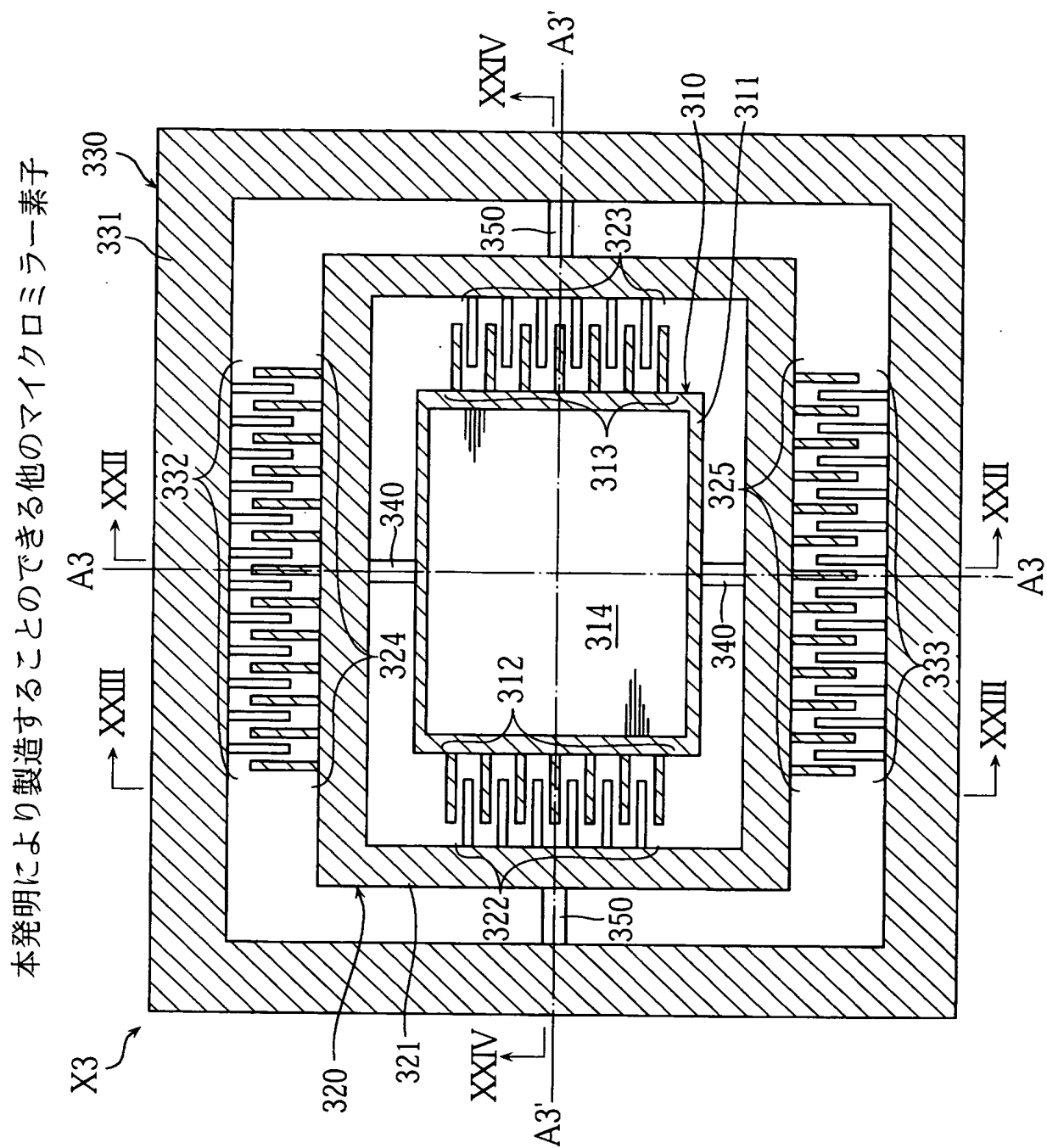


【図 20】

図19の後に続く工程

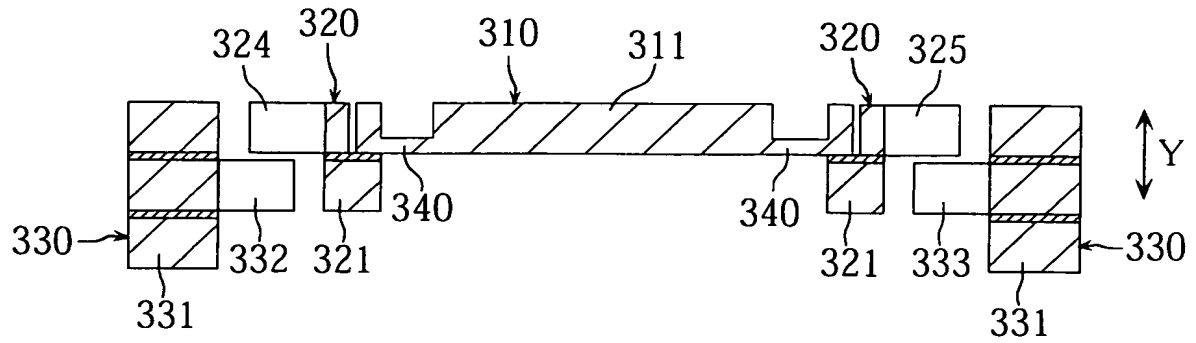


【図 2 1】



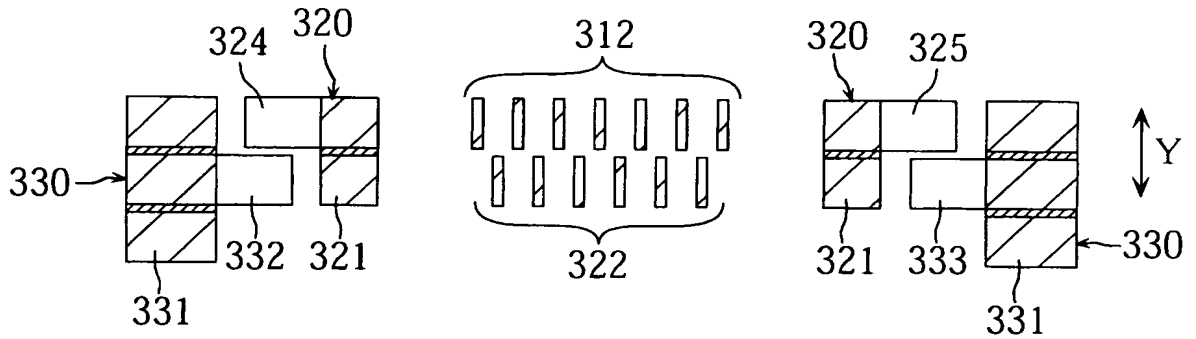
【図 2 2】

図21の線XXII-XXIIに沿った断面図



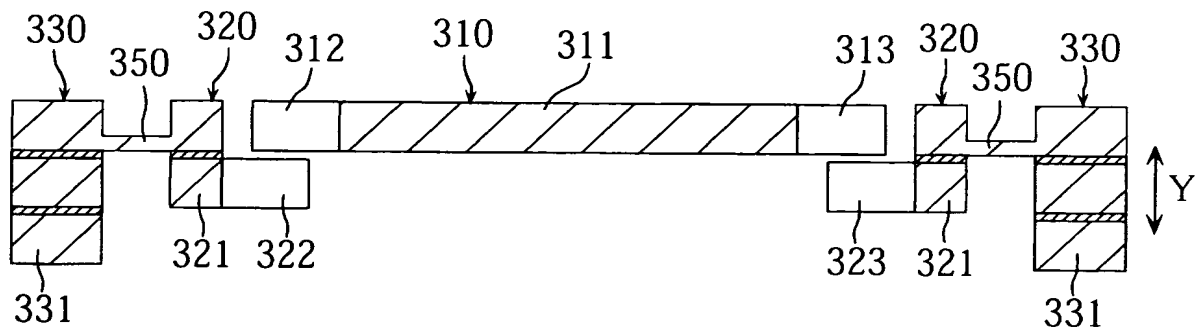
【図 2 3】

図21の線XXIII-XXIIIに沿った断面図



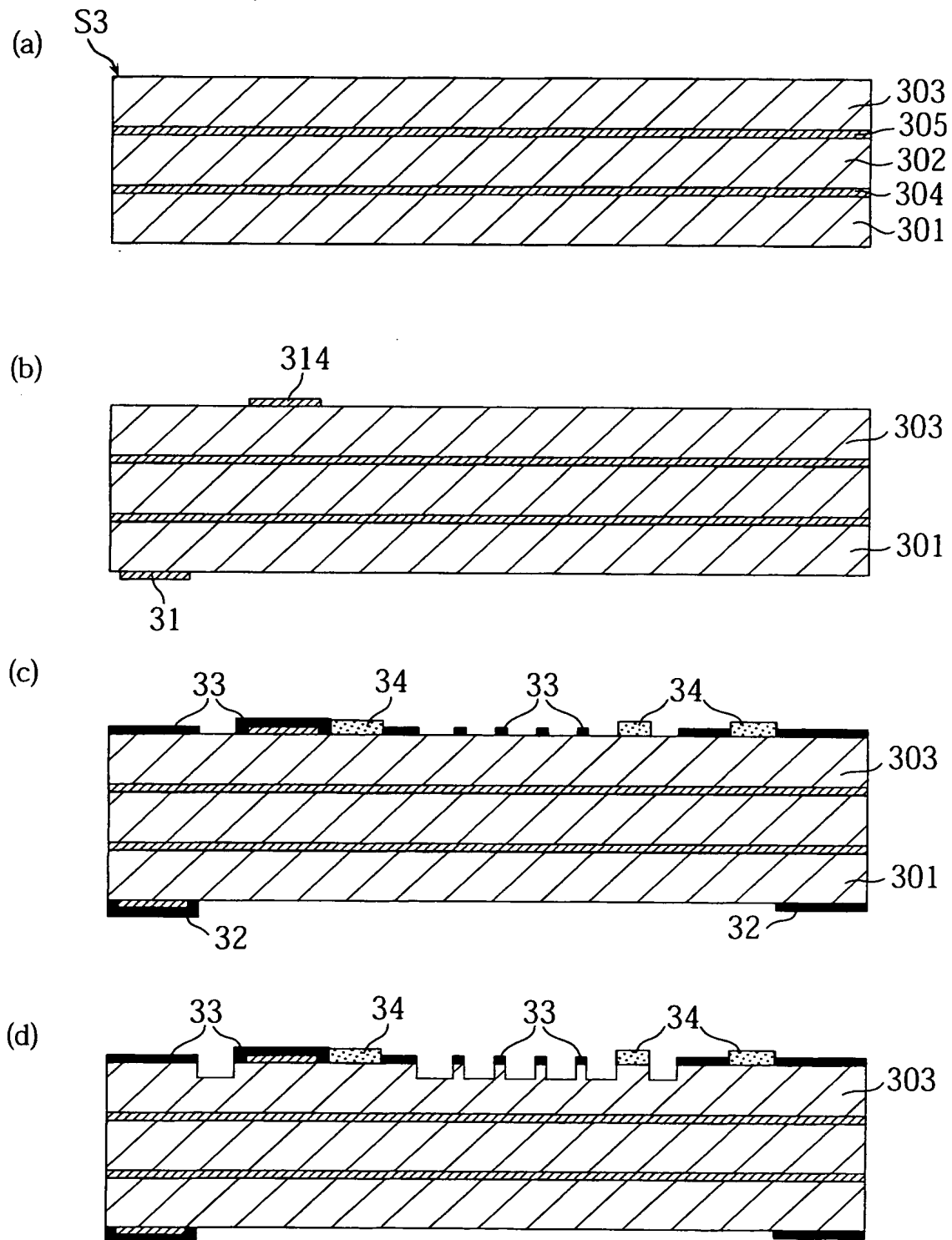
【図 2 4】

図21の線XXIV-XXIVに沿った断面図



【図 25】

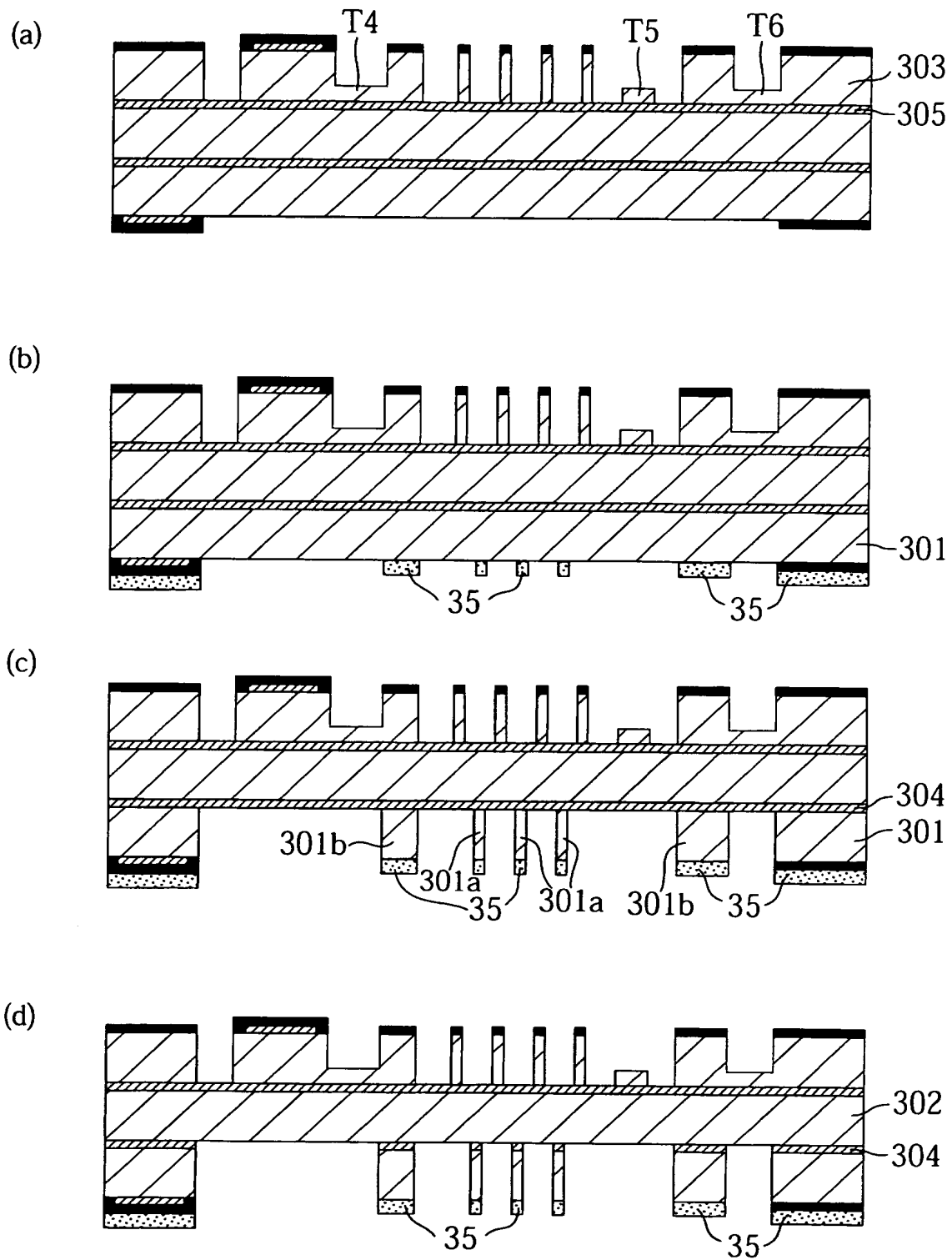
第3の実施形態のマイクロ構造体製造方法





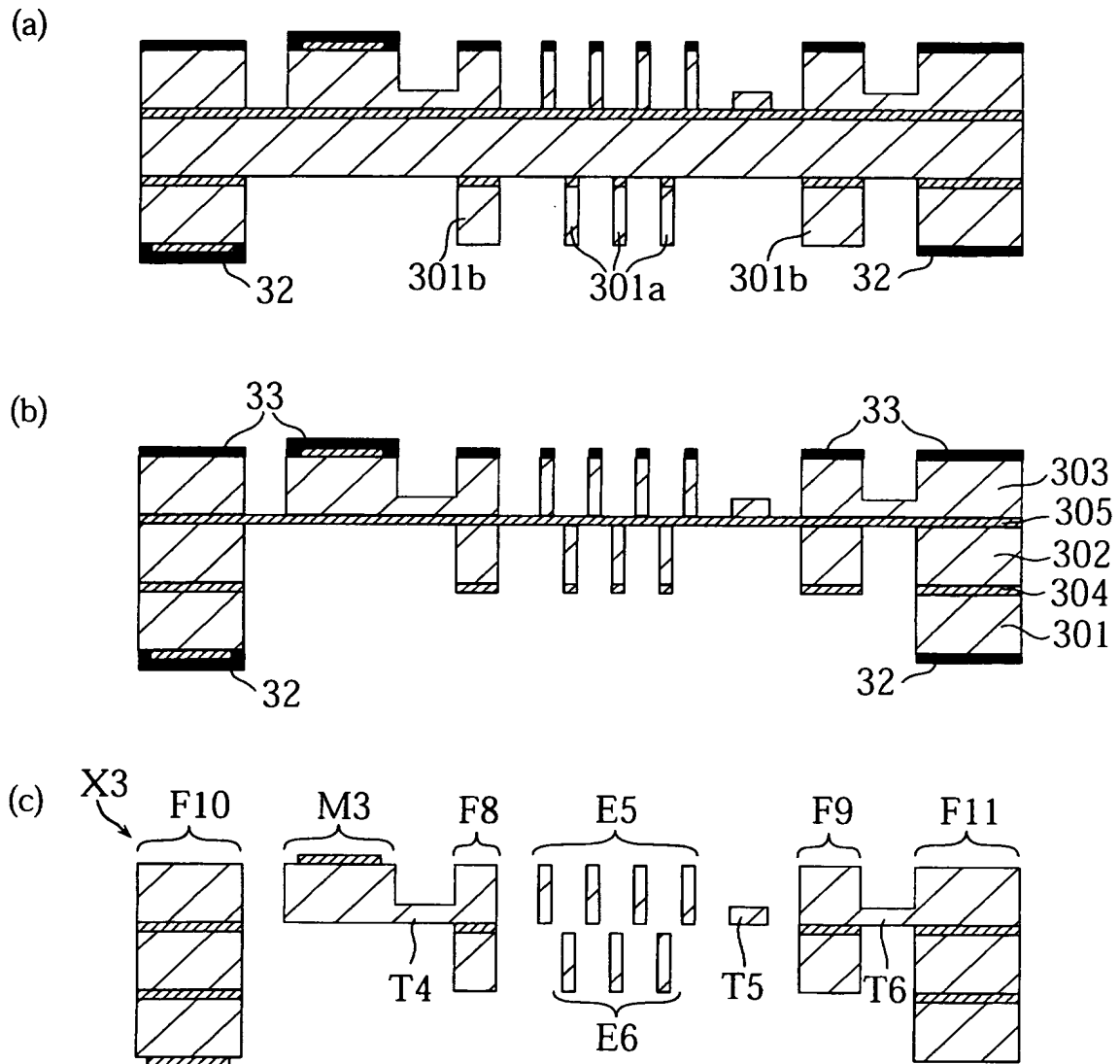
【図 26】

図25の後に続く工程



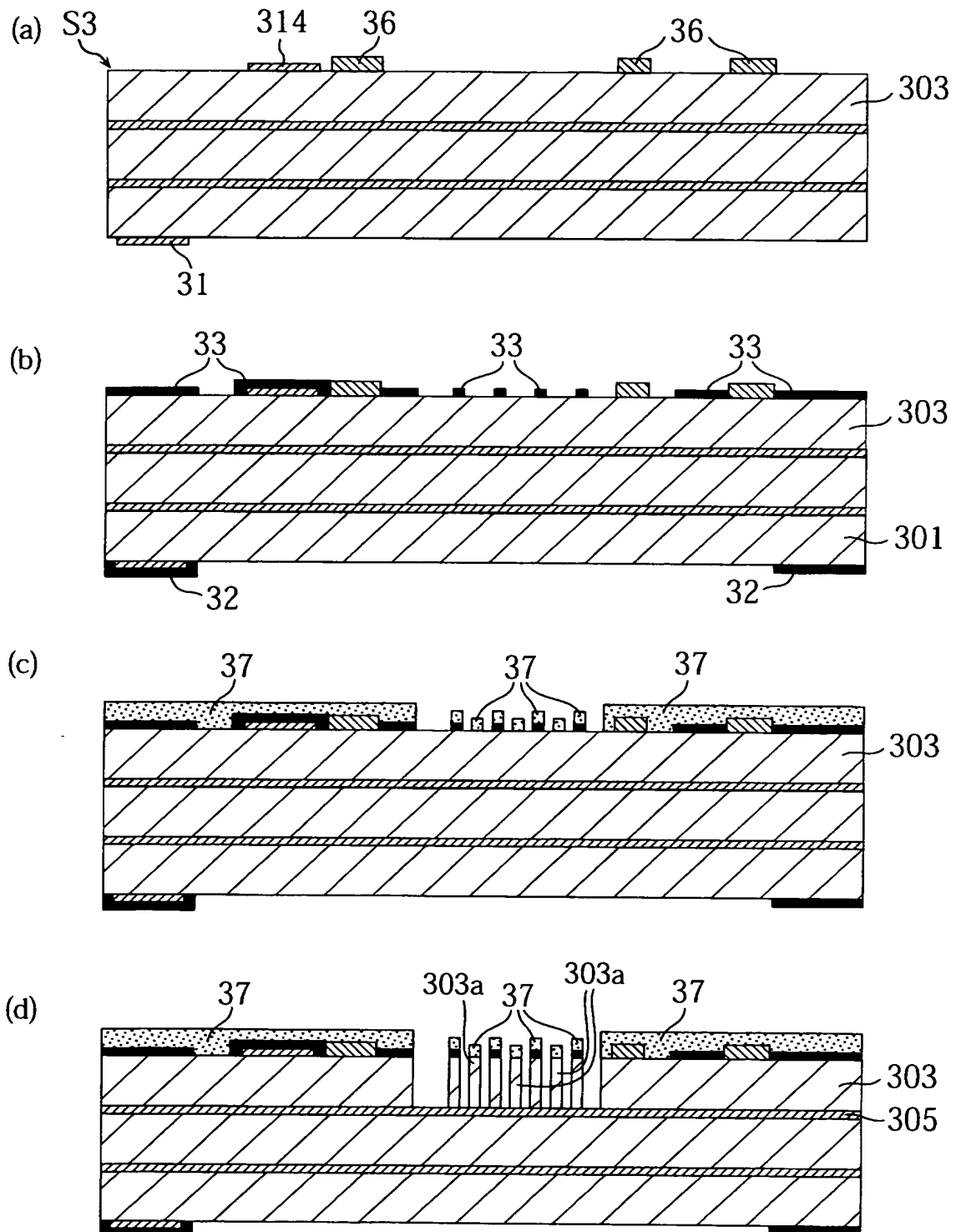
【図 27】

図26の後に続く工程



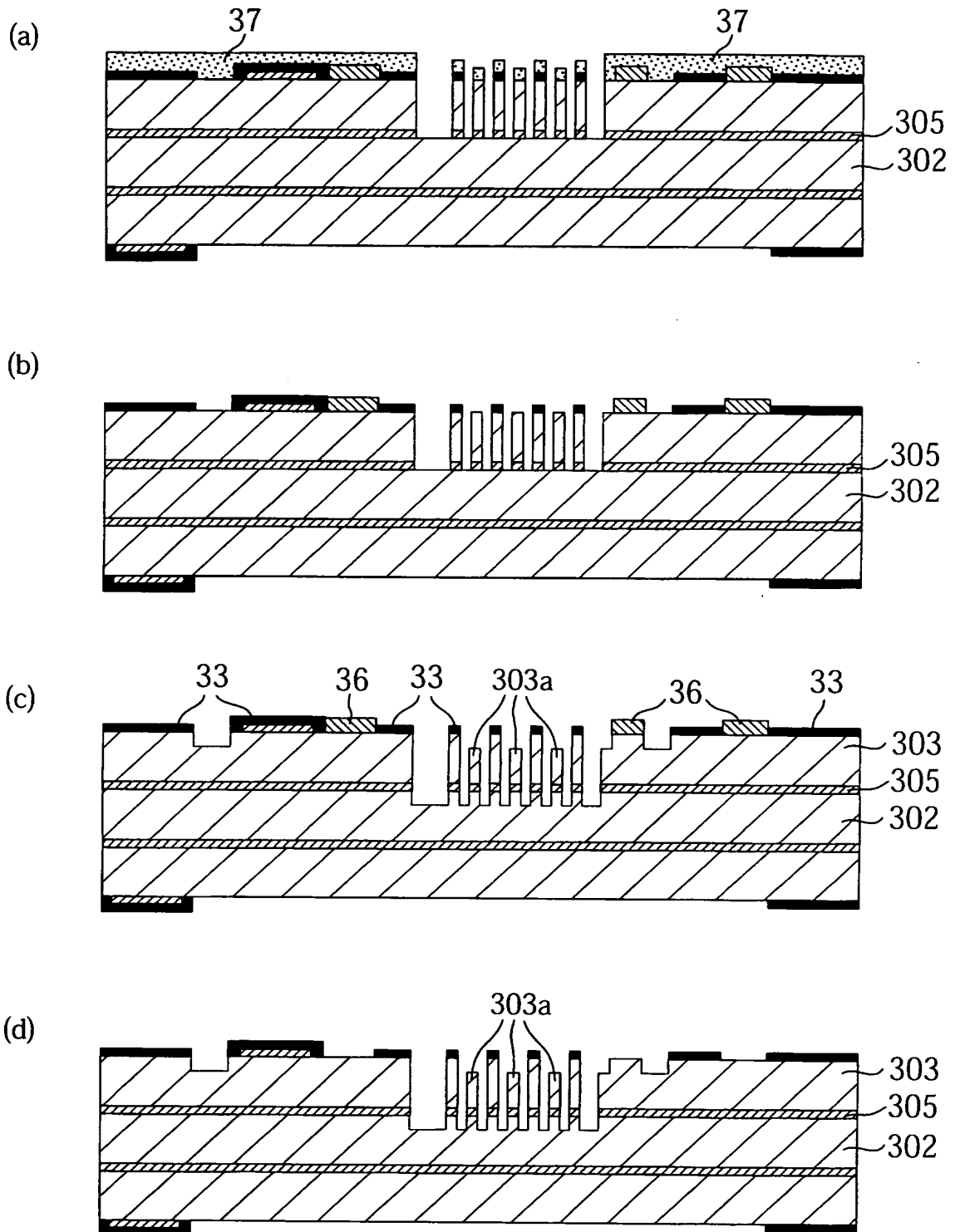
【図 28】

第4の実施形態のマイクロ構造体製造方法



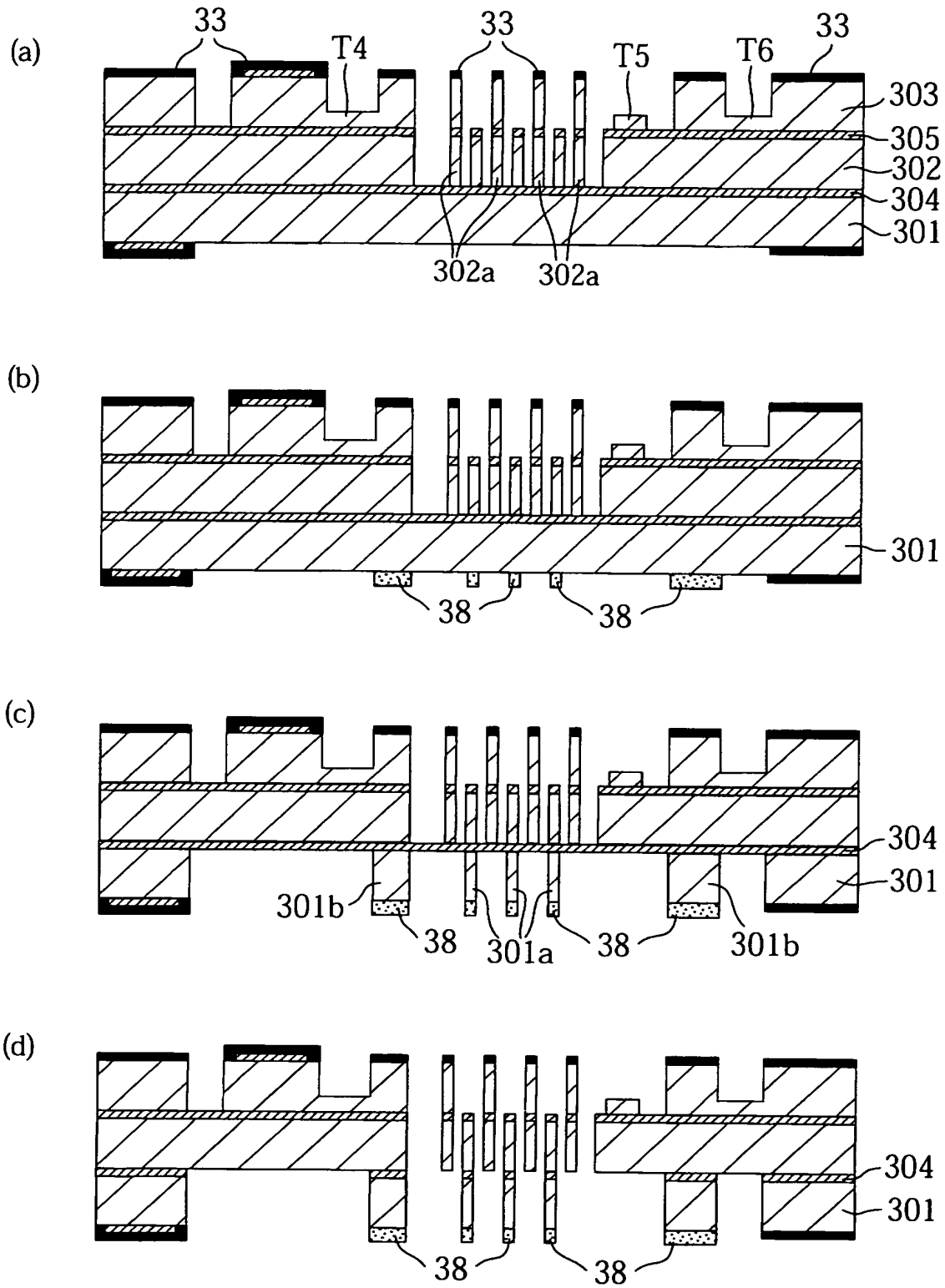
【図 29】

図28の後に続く工程



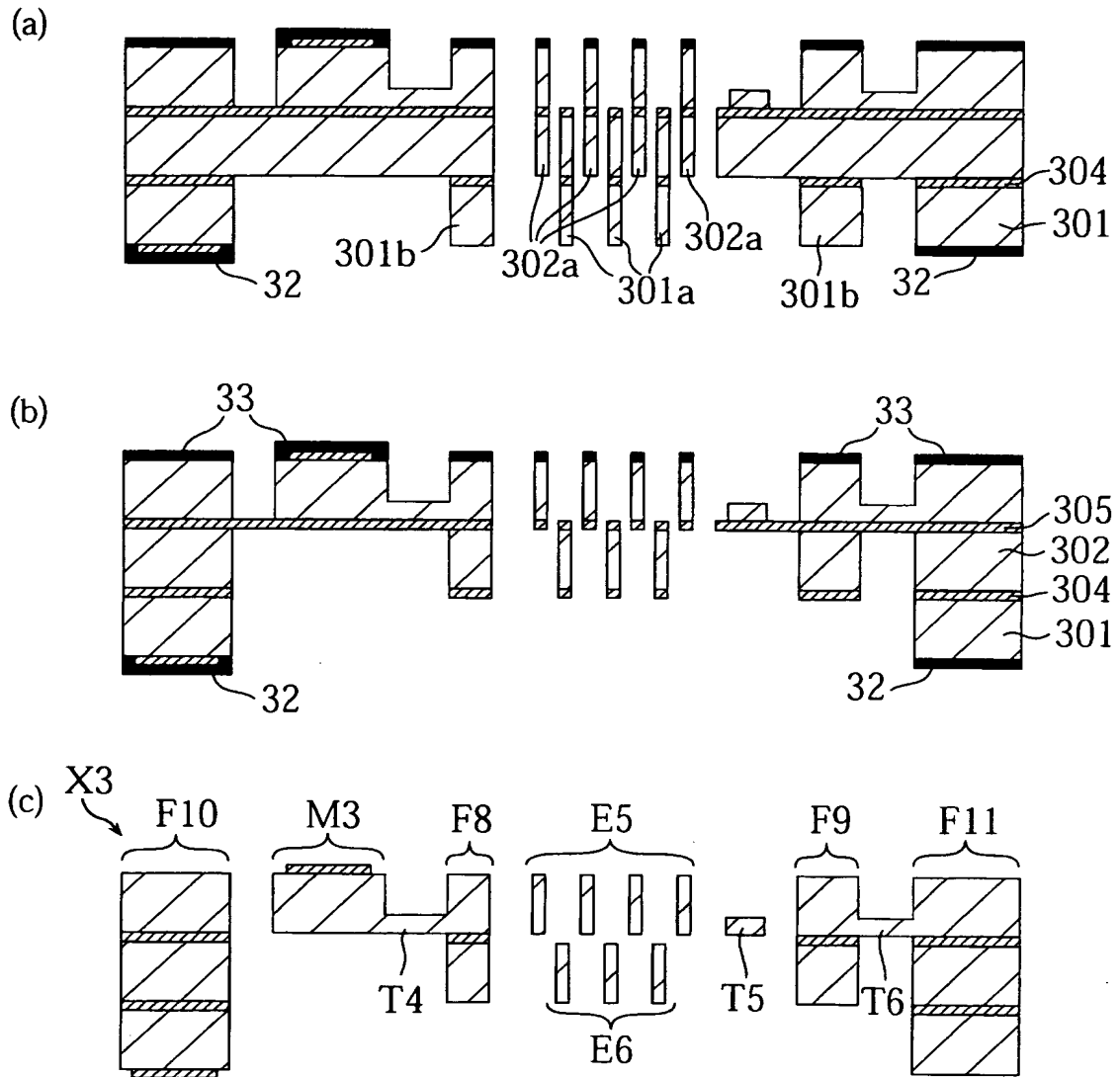
【図 30】

図29の後に続く工程



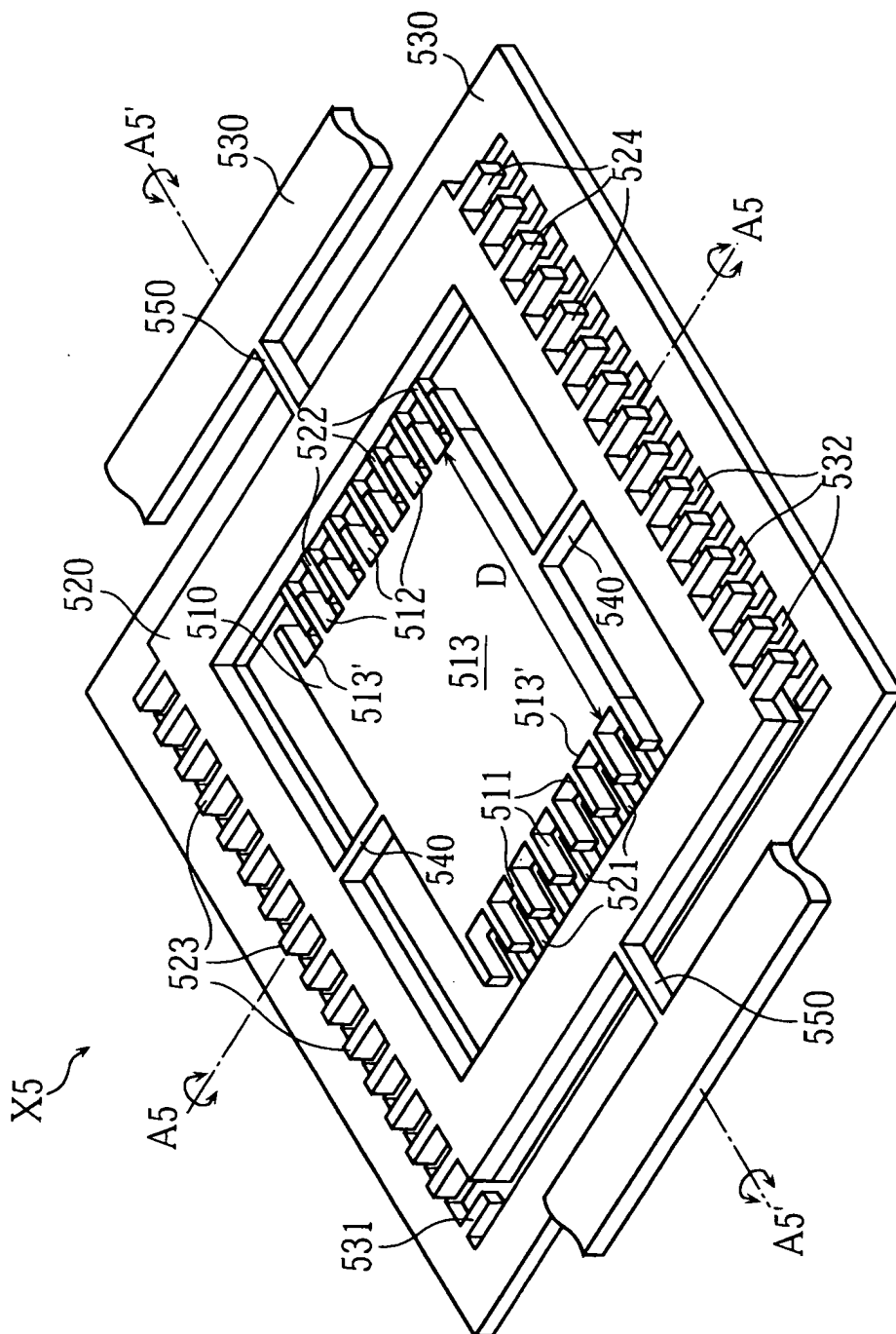
【図 31】

図30の後に続く工程



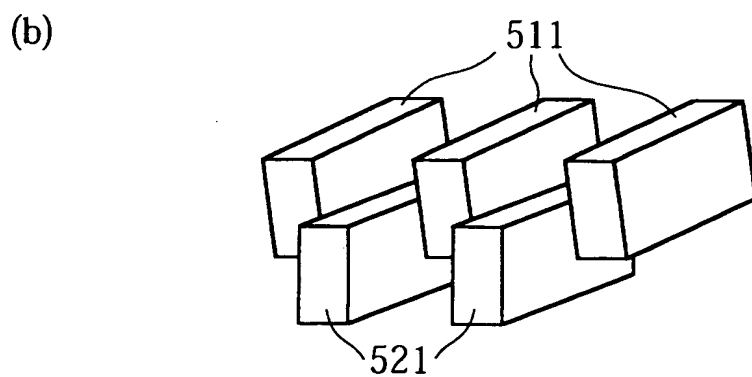
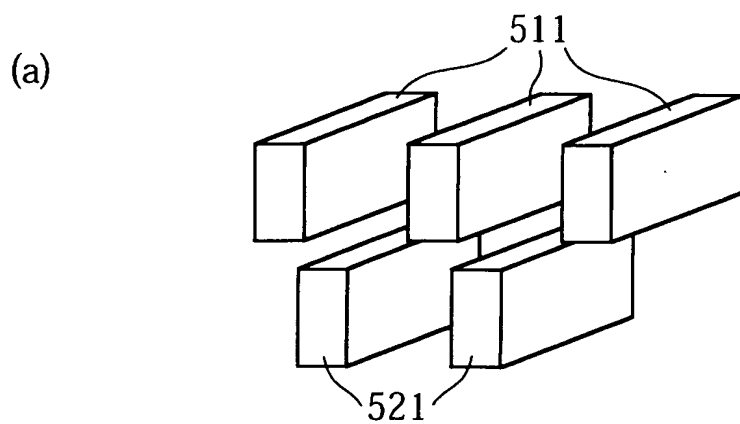
【図 32】

従来のマイクロミラー素子



【図 33】

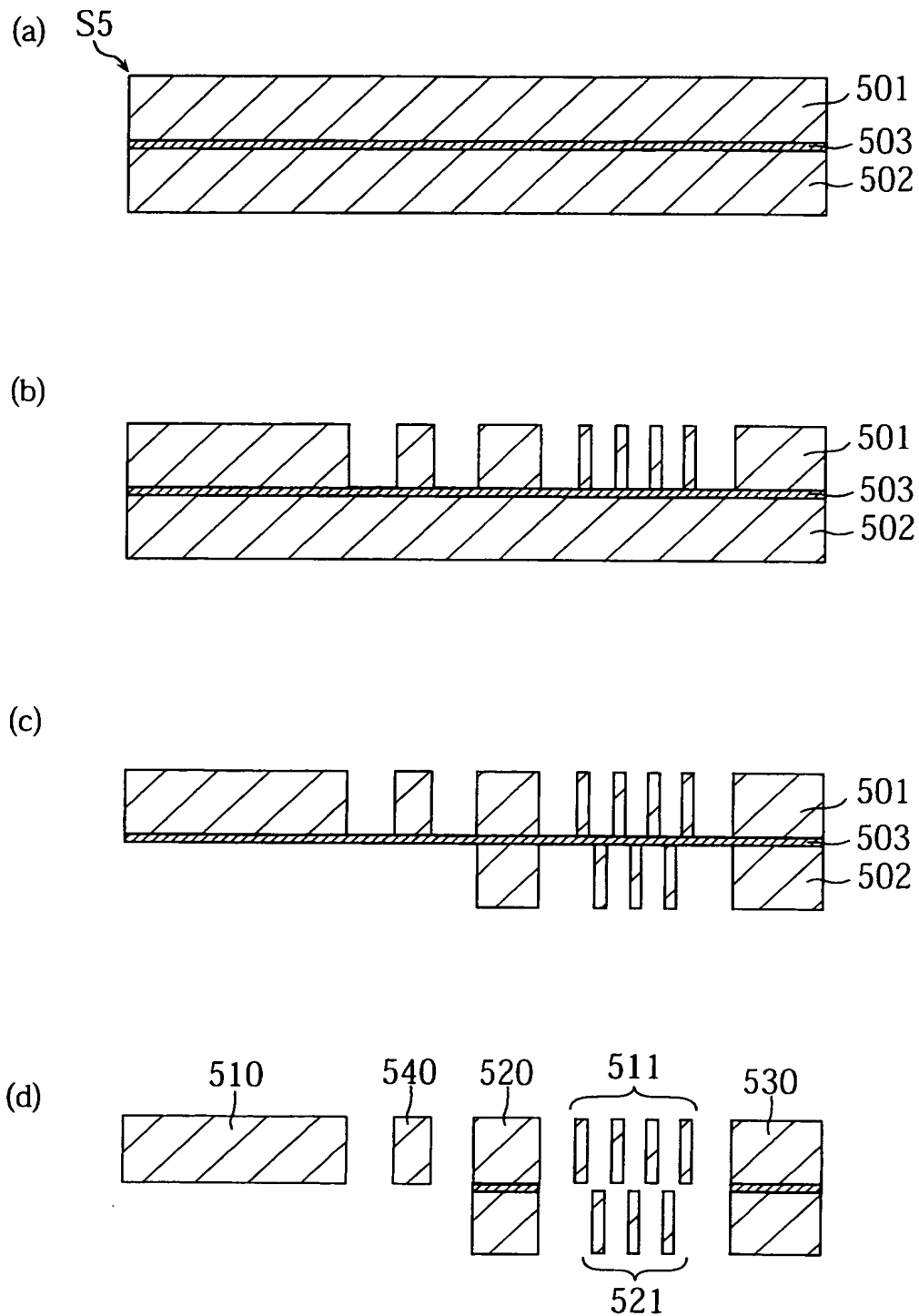
一組の櫛歯電極の配向を表す部分斜視図





【図 3 4】

従来のマイクロミラー素子製造方法



## 【書類名】 要約書

## 【要約】

【課題】 厚さの異なる複数の構造部の各々について所望の厚さ寸法を実現するのに適したマイクロ構造体製造方法を提供すること。

【解決手段】 本発明は、導体層 101～103 および絶縁層 104, 105 を含む材料基板 S1 に対して加工を施すことによりマイクロ構造体 X1 を製造する方法であり、マスクパターン 16, 18 を介して導体層 101 を所定深さまでエッチングする第 1 工程〔図 9 (b)〕と、マスクパターン 18 を除去する第 2 工程〔図 9 (c)〕と、マスク部 101a が形成されるように、マスクパターン 16 を介して導体層 101 をエッチングする第 3 工程〔図 9 (d)〕と、絶縁層 104 において第 3 工程にて露出した箇所をエッチング除去する第 4 工程〔図 10 (a)〕と、マスク部 101a を除去しつつ、導体層 102 において第 4 工程にて露出した箇所をエッチング除去する第 5 工程〔図 10 (b)〕と、を含む。

【選択図】 図 9, 図 10

特願 2 0 0 3 - 4 0 7 8 3 8

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 5 2 2 3 ]

1. 変更年月日

1 9 9 6 年 3 月 2 6 日

[変更理由]

住所変更

住 所

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号

氏 名

富士通株式会社

特願 2 0 0 3 - 4 0 7 8 3 8

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 3 9 8 0 6 7 2 7 0 ]

1. 変更年月日

2 0 0 3 年 5 月 3 0 日

[変更理由]

住所変更

住 所

神奈川県横浜市港北区新横浜二丁目 3 番地 1 2

氏 名

富士通メディアデバイス株式会社